

# 기상기술정책

METEOROLOGICAL  
TECHNOLOGY &  
POLICY



## "기상장비의 녹색산업화 전략"

### 칼럼

- 녹색산업으로서의 기상장비 산업 육성 정책 방향

### 정책초점

- 기상장비의 산업여건과 국산화 전략
- 기상장비 수출 산업화를 위한 성공전략
- 기상레이더의 국산화 추진 방안
- 기상레이더의 상용화 현황과 육성 방안
- 기상장비의 시장성 확보 전략 및 방향

### 논단

- 외국의 기상레이더 개발 동향과 제언

### 해외기술동향

- 유럽의 기상장비 산업 현황: 핀란드 바이살라를 중심으로
- 세계의 기상장비 및 신기술 동향



기상청 Korea  
Meteorological  
Administration

# Contents



## "기상장비의 녹색산업화 전략"

### 칼럼

- 녹색산업으로서의 기상장비 산업 육성 정책 방향 / 전병성 1

### 정책초점

- 기상장비의 산업여건과 국산화 전략 / 김상조 4
- 기상장비 수출 산업화를 위한 성공전략 / 이종국 14
- 기상레이더 국산화 추진 방안 / 장기호·석미경·김정희 22
- 기상레이더의 상용화 현황과 육성 방안 / 조성주 30
- 기상장비의 시장성 확보 전략 및 방향 / 이부용 42

### 논단

- 외국의 기상레이더 개발 동향과 제언 / 이규원 52

### 해외기술동향

- 유럽의 기상장비 산업 현황: 핀란드 바이살라를 중심으로 / 방기석 73
- 세계의 기상장비 및 신기술 동향 / 김지영·박소연 81

## 녹색산업으로서의 기상장비 산업 육성 정책 방향

전 병 성

기상청장

chunbs@kma.go.kr



### I. 기후변화는 산업발전의 새로운 기회

18세기 중반부터 시작된 산업혁명 이후 석탄과 석유 등 화석연료의 연소에 의해 대기 중으로 배출된 대기오염물질과 온실가스 등은 산성비, 오존층 파괴, 지구온난화 등 다양한 문제를 야기하여 왔다. 또한, 20세기 후반부터 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)를 통해 발표된 기후변화 문제가 국제사회의 중대한 이슈로 떠오르고 있다. 기후변화로 인하여 지구촌의 어느 곳에서는 태풍(또는 허리케인)이나 호우, 폭설 등에 의한 기상재해가 발생하는가 하면 다른 곳에서는 가뭄, 폭염, 대형 산불 등에 의한 피해가 빈번하게 발생하고 있다. 기후변화는 자연생태계는 물론 인류의 삶에도 분명 위협적 요인으로 인식되고 있다.

온실가스의 대기 중 농도 증가에 따른 지구온난화를 막기 위해 세계는 지금 온실가스 배출량 감소와 태양광 및 풍력 등 신재생에너지 개발에 심혈을 기울이고 있다. 또한 기후변화의 과학적 이해 증진을

위해 새로운 인공위성을 발사하고 태풍 내부의 구조를 파악하기 위하여 무인 항공기를 띄우는가하면 USN(ubiquitous sensor network) 기술을 활용하는 등 첨단 기술의 관측기술을 활용함으로써 시공간의 한계를 뛰어 넘는 새로운 기상관측과 기후변화 감시를 시도하고 있다. 지금까지 경험할 수 없었던 극단적 기상현상을 탐지하고 이전의 관측 장비를 통해 얻을 수 없었던 대기의 미세한 부분을 관측할 수 있는 기상관측 장비 개발의 수요가 크게 증가하고 있다. 미국이나 유럽 등 세계의 기상장비 시장에서도 기후변화에 따른 새로운 환경변화와 함께 시장의 성장이 급속하게 이루어지고 있다. 즉, 기후변화와 관련된 기상장비 산업은 우리에게 새로운 기회 요인이자 블루오션의 '녹색산업'으로 떠오르고 있는 것이다. '녹색성장'은 '지속가능한 성장'의 개념이 발전한 것으로 이의 실현을 위해 '녹색기술'을 필요로 한다. 녹색기술은 저탄소화, 녹색산업화 등의 요소를 포함하는 녹색성장을 실현하기 위한 기술로서 경제성장을 지원하면서 동시에 환경지속성을 고려하는 광의의 기술적 트렌드를 의미한다고 할 수 있다.

## II. 기상장비 산업 육성 정책

우리나라의 전체 기상산업 매출액 중 기상장비 산업 분야가 차지하고 있는 비율은 2008년 현재 약 63%로서 매우 높은 것으로 알려져 있다. 이는 기상산업의 조기 육성을 위해서 기상장비 산업 육성이 그만큼 중요함을 의미한다. 기상청은 지난 12월에 기상산업 정책 포럼을 개최를 통해 마련한 『기상산업 발전 정책 방안』을 바탕으로 2월에는 기상장비 개발 관련 전문가들이 참석한 가운데 『기상장비 산업 육성 전문가 집중 토론회』를 개최함으로써 산업계와 학계 등으로부터 다양한 의견을 수렴한 바 있다.

기상청은 앞으로 기상장비 고품질·첨단화를 위한 기상장비 산업 지원 정책을 강화함으로써 기상장비 국산화가 조기에 달성될 수 있도록 노력할 것이다.

이를 위해 선결되어야 할 몇 가지 사항을 살펴보면 다음과 같다. 첫째로 새로운 기상장비를 개발할 수 있는 기술력이 확보되어야 한다는 것이다. 이를 위해 기상장비 개발 R&D가 확대될 필요가 있다. 또한 중점 분야를 발굴하여 집중적으로 육성하는 한편 장비개발을 위한 산·학·연 클러스터를 구축함으로써 경쟁력 있는 장비를 생산할 수 있는 기술력 확보가 필요하다. 둘째로 국산장비 시장이 확대될 필요가 있다. 이를 위해 기상장비 구매를 위한 신규수요를 창출하고, 고가장비에 대한 구매지원책 마련과 함께 효과적인 마케팅 지원책이 마련되어야 한다. 셋째로는 기상장비산업의 인프라를 조성하는 일이다. 이를 위해 기상청 내에 기상장비 개발 업무를 담당할 수 있는 전문조직을 신설하고, 기상장비 개발에

필요한 전문 인력을 육성하며 기술이전제도 및 장비 품질인증제도 등을 시행함으로써 기상장비 국산화가 효과적으로 추진될 수 있도록 정책적 지원을 강화할 필요가 있다.

## III. 기상장비산업 육성의 파급효과

기상장비의 국산화 및 수출산업화를 통해서 우리가 얻을 수 있는 긍정적 효과를 생각해 볼 때 타 산업 분야에 비해서 그 파급효과가 매우 클 것으로 예상된다. 우선 생각할 수 있는 것이 장비의 수입에 따른 외화의 유출을 막을 수 있다는 것이다. 또한, 장비의 고장이나 장애발생이 복구되기까지 소요되는 시간과 경비의 낭비를 줄일 수 있다. 예를들어 기상 레이더 장비의 경우 부품의 일부가 손상이 되거나 고장 나더라도 장비제작사의 방침에 따라 부품 전체를 교체해야하는 경우가 많아 그에 따른 경제적 손실을 감수 할 수 밖에 없는 실정이다. 또한, 장비의 복구지연으로 관측 자료의 장기 결측이 발생할 경우 그에 따른 사회경제적 비용과 파급효과는 상당히 클 수 있다. 중장기적으로 기상장비의 생산과 유지보수에 대한 기술력이 확보 된다면 수출산업화를 통하여 외화 획득을 할 수 있는 기회로 전환시킬 수도 있을 것이다. 그리고 국산화 과정을 통해서 이루어지는 대기관측기술의 축적과 향상을 통하여 대기 현상을 보다 정확하게 이해할 수 있는 토대를 마련함으로써 수치예측 모형의 개선과 더불어 환경, 생태, 보건 등 관련 분야의 발달을 가져올 수 있고 이는 궁극적으로 과학기술 분야의 국가경쟁력 향상에 도 기여할 수 있을 것이다.

# 정책 초점

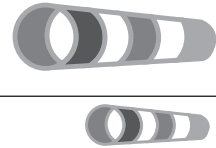
기상장비의 산업여건과 국산화 전략 | 김상조

기상장비 수출 산업화를 위한 성공전략 | 이종국

기상레이더의 국산화 추진 방안 | 장기호·석미경·김정희

기상라이더의 상용화 현황과 육성 방안 | 조성주

기상장비의 시장성 확보 전략 및 방향 | 이부용



## 기상장비의 산업여건과 국산화 전략

김 상 조

웰비안시스템(주) 대표

kimsj@wellbiansys.co.kr

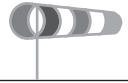
### I. 녹색성장 동력으로서의 기상장비 산업

근래 기후변화가 국제적 의제로서의 우선순위를 한층 높여가는 추세에 발맞추어 지난해 출범한 현 정부에서는 국가발전전략에 있어서 ‘기후변화 대응’과 ‘저탄소 녹색성장’이라는 주제어가 중요한 화두로 부각되고 있다. 이렇게 변화하는 정책적 여건에서 환경부와 기상청의 역할이 증대되는 것은 물론 기상산업 역시 이 변화의 한 축을 담당하여야 할 것이다.

이른바 “녹색성장”이란, 탄소배출에 의하여 지구의 기온이 상승하고 이로 인한 기후변화로 생태환경이 바뀌는 것을 방지하고자 에너지를 화석연료에서 청정에너지로 전환하여 탄소집약도를 개선하고 에

너지 효율을 높여 기후변화에 대응함과 동시에 에너지 안보를 강화함으로써 새로운 분야에서의 경제 성장을 촉진하고 생태건전성을 높여 지속가능한 발전과 보다 안전하고 풍요로운 생활환경을 조성하고자 하는 개념의 함축적 표현인 것이다.

정부는 이러한 정책목표를 구현하고자, 2008년 9월 국무총리실 기후변화대책기획단 이 ‘범지구적 기후변화대응 노력에 동참하고 녹색성장을 통한 저탄소 사회 구현’이라는 비전을 제시하고 ①기후친화산업을 신성장동력으로 육성, ②국민의 삶의 질 제고와 환경 개선, ③기후변화 대처를 위한 국제사회 노력을 선도한다는 목표를 설정한 「기후변화대응 종합기본계획」을 수립하였다.

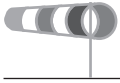


이어서 2008년 11월에는 환경부 주도로 13개 관련 부처가 '기후변화 적응을 통한 안전사회 구축 및 녹색성장 지원'이라는 비전을 제시하고 ①종합적이고 체계적인 기후변화 적응역량 강화, ②기후변화 위험 감소 및 기회의 현실화를 목표로 설정한 「국가 기후변화 적응 종합계획」안을 수립하고 공청회를 가진 바 있으며, 2008년 12월에 기상청은 기상산업이 신 성장동력산업으로의 발전 잠재력을 가지고 있음을 전제하고 '국내 기상산업 육성과 이를 통한 국민의 기상서비스 만족도 제고'라는 목표를 설정한 「기상산업 발전 정책방안」을 정책포럼을 통하여 발표한 바 있다.

위에 언급한 일련의 계획에 포함되어 있는 핵심 내용 중 기상산업과 비교적 밀접하게 연관성을 가지는 추진과제는 다음과 같다.

- ▶ 신·재생에너지 초기시장 창출 및 보급 프로그램 확대
- ▶ 태양광, 풍력발전 산업의 수출산업화
- ▶ 에너지 효율향상산업 육성 프로그램 확대
- ▶ 기상서비스의 산업화 확대
- ▶ 그린 홈, 그린 빌딩 확대
- ▶ 친환경 농업 생산기반 확대
- ▶ 부문별(생태계, 대기, 건강, 농수산, 산림, 물관리, 도시, 방재, 금융) 기후 변화 영향평가 및 적응 종합계획 수립
- ▶ 기후변화 및 지구환경변화 감시체계 구축
- ▶ 국가표준 기후변화 시나리오 개발
- ▶ 기후변화 예측자료 확대생산 및 활용시스템 구축

- ▶ '동아시아 기후 파트너십' 사업을 통한 기후변화 관련 글로벌 리더십 제고 및 기후산업 해외진출기반 확대
- ▶ 기후변화 예측능력 제고를 위한 모델 개발
- ▶ 기후변화와 대기환경 통합 예측시스템 구축
- ▶ 생태계 변화 장기 모니터링
- ▶ 해양변동 장기 모니터링
- ▶ 기후변화 건강영향 및 전염병 감시체계 구축
- ▶ 산림생태계 변화 및 취약성 장기 모니터링
- ▶ 생태계 영향 및 취약성 평가
- ▶ 대기환경 영향 및 취약성 평가
- ▶ 물관리 분야 영향 및 취약성 평가
- ▶ 보건 분야 영향 및 취약성 평가
- ▶ 해양생태계 영향 및 취약성 평가
- ▶ 농업 분야 영향 및 취약성 평가
- ▶ 지구온난화에 따른 작물생산환경 및 병충해 영향 평가
- ▶ 수자원 영향 및 취약성 평가
- ▶ 산림 및 임업에 대한 영향 및 취약성 평가
- ▶ 자연재해 취약성 평가
- ▶ 에너지 산업의 기후변화 영향과 취약성 분석
- ▶ 관광산업의 기후변화 취약성 평가 및 적응모델 개발
- ▶ 국토 취약성(수해, 폭염, 한파 등) 평가 및 적응시스템 구축
- ▶ 이상홍수에 대비한 홍수예보시스템 강화
- ▶ 홍수·가뭄 등 물 관련 재해의 영향을 최소화하는 수질관리 추진
- ▶ 폭염에 대한 건강관리
- ▶ 기상재해로 인한 건강영향 최소화
- ▶ 대기오염에 따른 건강 예·경보시스템 구축



- ▶ 알레르기질환 유발 꽃가루 관리대책 강화
- ▶ 매개체 전파 전염병 관리 강화
- ▶ 국가 차원의 통합재난대응체계 구축
- ▶ 산불 취약지 관리 및 조기진화시스템 구축
- ▶ 농업·임업 부문 기후변화 피해 예방 및 최소화
- ▶ 에너지 부문 기후변화 대응 효율적 수급관리 체계 연구
- ▶ 기후변화 적응 보험제도 도입
- ▶ 그린투어 등 친환경적 관광레저산업 부양
- ▶ 기후변화 적응을 위한 도시설계(바람길 조성 등 미기후 관련)
- ▶ 기상서비스 분야의 민간부문 역할 확대
- ▶ 수요자 중심의 기상부문 사업화기술 확보전략 개발
- ▶ 기상부문 연구개발 기술의 사업화 적극 지원
- ▶ 기상기술 이전 및 교류 활성화
- ▶ 기상장비 국산화 조기 달성
- ▶ 지속적인 기상산업 시장 확보
- ▶ 기상시장 활성화를 위한 기반 확충
- ▶ 기상정보의 경제적 활용도 제고

위에 열거한 항목들은 비록 중복되는 부분이 일부 있으나 기후변화 대응 또는 적응과 녹색성장을 위하여 계획된 추진과제를 수행함에 있어 얼마나 많이 기상정보를 필요로 하는가를 가시적으로 보여 주기 위한 것이다. 결국 이러한 사업은 대기질, 수문기상, 해양기상, 농업기상, 일사, 부유분진(꽃가루 포함) 등 응용기상분야를 포함한 모든 기상 관련 정보와 자료에 기초하는 것이므로 이의 기본이 되는 관측 자료를 요구하게 된다.

이와 같은 상황에 대처하기 위하여 보다 다양하고 정확한 고품질의 기상자료를 생산하여야 하기 때문에 기상장비의 수요는 증대될 것이나 기상장비의 국산화가 극히 초보단계에 있는 우리로서는 대부분 선진 외국 제품에 의존하게 되어 외화 유출이 늘고 기술적 종속정도가 심화될 것이다. 특히, 외국장비 도입 시에는 기술이전에 한계가 있어 유지보수가 원활하지 않고 수요 변화에 따른 활용방법의 개선이 불가능하거나 큰 어려움을 겪게 되는 것이다.

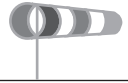
더구나 기후변화 대응과 녹색성장이라는 화두는 우리나라만의 것이 아니므로 전세계적으로도 기상장비의 수요는 증대될 것이므로 기상장비의 국산화는 국내수요의 충족을 넘어 세계시장으로의 판로가 열리는 유망한 성과를 기대할 수 있어 녹색성장 동력산업의 하나로 자리매김 될 것이다.

## II. 외국 기상장비 업체현황과 우리의 위치

### 1. HMEI 회원사 분석

세계 유수의 기상장비 업체 대부분을 회원사로 두고 있는 기상·수문 장비산업 협회(HMEI : Association of Hydro-Meteorological Equipment Industry)는 2000년 3월 세계기상기구(WMO)의 권고를 받은 후, 2001년 9월 26일 공식적으로 설립되어 현재 활발하게 활동하고 있다. 이 협회는 기상장비 업체의 의견을 수렴하여 공통적 목소리를 높임으로써, ①기상, 수문, 환경 등의 장비와 용역을 제공하는 민간산업의 입장을 격상시키고, ②WMO 및 기타 국제기구의 신임을 받으며 회원사 간의 협력과 소통을 활성화





화하여 국제적-국가적, 정부와 민간 상호간의 공동 이익을 창출하는데 그 설립 목적을 두고 있다.

현재 HMEI에는 세계적 인지도가 있거나 발전의지가 강한 총 22개국의 95개 업체가 회원으로 등록되어 있으며, 우리나라에서는 진양공업(주)와 케이웨더(주)가 회원으로 가입되어 있다([표 1] 참고). 이들 업체는 장비생산 및 서비스부문을 기준으로 볼 때 5가지 형태로 분류될 수 있으며, 기본적인 기상관측 센서와 부분적으로 지능형 센서를 생산하고 이들을 결합·시스템화(SI : System Integration)하는 것과 특화된 전문영역의 장비생산과 SI를 겸하는 것이 주류를 이루고 있다([표 2] 참고). 여기서 A형에 속하는 업체는 대형 종합기상장비 생산업체로서 핀란드, 프랑스 및 일본의 업체인 것으로 분석된다.

2. 공공부문과 기업을 연결하는 대표적 조직

1) Meteo France International(MFI)

2002년 프랑스 기상청(Meteo France)의 산하 조직으로 설립된 MFI는 다양한 분야의 우수한 기상전문가를 보유하고 프랑스는 물론 전 세계 기상당국을 대상으로 하여 관측시스템, 정보처리시스템 및 정보서비스 분야 등의 아래와 같은 업무를 수행하고 있다.

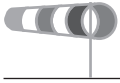
- ▶ 기본계획 수립 및 감사
- ▶ 종합설계와 기술적 해결방안의 평가
- ▶ 제반 기초적 및 선진 기상기술의 결합과 제공
- ▶ 종합적 프로젝트의 수행, 기술적 및 관리적 지원
- ▶ 교육훈련 및 기술이전

[표 1] HMEI 국가별 회원사 현황

회원사수	21	15	11	10	6	4	3	2	1
국가 명	미국	독일	프랑스	영국	일본	네덜란드	이탈리아 슬로바키아 호주 중국	노르웨이 체코 스위스 한국	러시아, 캐나다, 폴란드, 오스트리아, 핀란드, 스웨덴, 인도, 말레이시아,

[표 2] HMEI 회원사 업체별 구성 현황

구분	장비생산 및 서비스 업체	업체 수
A형	기본 센서 류, 지능형 센서, 원격탐측, 특화 센서 + SI 등	3
B형	기본 센서 류(일부 지능형 센서 포함) + SI	38
C형	원격탐측(Remote Sensing) 장비 + SI	11
D형	특화 전문 장비(지능형 센서 포함) + SI	27
E형	응용 소프트웨어, 자료처리, 수치예보모델, + SI	16



구체적으로 관측시스템과 관련하여 MFI는 항공, 지상교통, 농업, 환경 등의 응용분야에서 다양한 수요에 맞추어 관측망을 설계, 공급 및 설치하는 영업활동을 하고 있다.

이를 위하여 MFI는 프랑스의 대표적인 항공분야 엔지니어링 컨설팅 회사인 EgisAvia사와 제휴되어 있으며, Meteorage, Degréane Horizon, Modem, Précis Mécanique, Socrima, Lercq 등 여러 기상장비 제조사와 협력관계를 가지고 있다. 또한 MFI는 세계 시장에 있어 공급사로도 입찰에 참여할 뿐만 아니라 자국 기상장비 제조사의 영업을 지원하기 위한 성능보증 역할도 수행하고 있다.

2) 일본 기상업무지원센터(JMBSC)

1994년 일본 기상업무법에 의거 설립된 재단법인 JMBSC는 날로 증가하고 있는 기상정보 등의 수요를 효과적으로 충족하고자 기상청과의 역할 분담 및 민간부문과의 연계성을 원활히 하는 것을 목적으로 하고 있다.

이 JMBSC의 주요 사업내용은 아래와 같이 기상청의 대민업무 일부를 수행함과 아울러 기상정보 활용과 기상장비 산업 진흥에 기여하고 있으며, 우리나라 (재)한국기상산업진흥원의 역할모델이 되어 왔다.

- ▶ 기상청이 생산한 기상정보 및 자료의 제공
- ▶ 기상예보사 자격시험 시행
- ▶ 기상장비 검교정 서비스(일본 국내)
- ▶ 기상정보 활용 분야에서의 연구개발 지원
- ▶ 기상 교육 실시 등

3. TECO-2008에 의거한 기상장비 관심분야 현황

2008년 11월 러시아에서 개최된 세계기상기구(WMO)의 기상 및 환경장비와 관측기술에 관한 기술회의(TECO-2008)은 각 WMO 회원국의 기상관련 생산물과 서비스의 품질향상을 위하여 전지구관측체계 내에서의 기상관측시스템의 국제 표준화와 호환성을 제고하는데 그 목적을 두고 있다. 따라서 이 기술회의에 대한 각 국가의 참여도와 발표되는 자료의 내용을 통하여 기상장비에 대한 주요 관심 부문과 현재의 개발방향을 파악할 수 있다.

이 기술회의에서는 39편의 논문이 구두 발표되고 95편의 포스터 발표가 있었는데, 각 국가별 기여도는 아래 [표 3]을 통하여 알 수 있다. 일반적으로 기술회의에서의 구두발표는 발표자의 의사만으로 정해지지 않고 주관기구의 국제적 평판과 기술 우월성의 인지도에 의하여 결정되는 만큼 기상기술 선진국 위주로 구성되어 있다. 반면에 포스터 발표는 회의 참가자의 의지에 따라 정해질 수 있어 그 수량적 규모는 해당 국가의 관심도를 나타낸다고 볼 수 있다.

여기서 우리는 TECO-08 발표 현황을 통하여 기상장비 분야에서 영국, 프랑스, 독일 등 유럽의 선진제국과 러시아, 호주, 미국이 기술적 우위를 가지고 있음과 이들 국가를 포함하여 터키, 중국, 한국, 케냐, 인도, 우즈베키스탄 등이 적극적인 관심과 발전의지를 보이는 것으로 볼 수 있다.

특히 한국 기상청이 비록 국내에서 자체 개발된 정

[표 3] TECO-2008 에서의 국가별 발표 현황

〈구두 발표〉								
국가별 발표건수	8	6	3	2	1			
국가 명	영국	프랑스	독일 러시아 호주	미국 이태리 스위스 핀란드	캐나다, 네덜란드, 터키, 슬로바키아, 브라질, 중국, 인도, HMEI			

〈포스터 발표〉								
국가별 발표건수	13	11	7	5	4	3	2	1
국가 명	프랑스	러시아	독일	영국 네덜란드 터키 중국	케냐	이탈리아 모로코 우즈베키스탄 인도 한국	캐나다 핀란드 이집트 슬로바키아	미국, 일본, 스위스, 오스트리아, 이란, 아시아 및 아프리카 개도국(12)

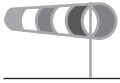
규 기상관측장비에 관한 것이 아닐 지라도 선진화된 관측망과 관측기술을 3건 소개하였다는 점은 매우 고무적이라 할 것이다. 반면에 기상장비 분야에서 선도적 위치에 있는 미국이 동 회의에 매우 낮은 기여도를 보인 것은 국제사회에 대한 비협조성이거나 기술보호전략에 기인한 것으로 추측된다.

이와 병행하여 발표내용에 관련된 기상장비의 종류와 그 건수를 통하여 우리는 최근 세계 여러 기상당국에서 어떠한 분야에 관심을 가지고 있는가를 알 수 있다([표 4] 참조).

TECO-2008 기술회의에서 중점적으로 다루어진 기

[표 4] TECO-2008 에서의 장비별 발표 현황

장비분야	AWS	온도	습도	강수	적설	착빙	시정	바람	하늘 상태	지면 상태	현재 일기	분진 황사	
발표건수	구두	5	-	-	9	1	1	-	-	-	-	1	-
	포스터	5	3	3	7	-	1	2	1	1	2	-	1
	계	10	3	3	16	1	2	2	1	1	2	1	1
장비분야	일사	차광통	수문	레이더	Radio sonde	운고	낙뢰	Wind Profiler	GPS	Lidar	Radio meter	기타 기술	
발표건수	구두	-	-	-	3	5	-	-	1	1	-	-	12
	포스터	2	2	2	9	7	2	4	1	-	2	2	36
	계	2	2	2	12	12	2	4	2	1	2	2	48



상장비와 관측요소는, 구두발표에서는 다소 제한적이었으나 포스터발표를 포함하여 볼 때 현재 우리나라에서도 관심의 대상이 되는 것과 대부분 일치하고 있다. 이는 전 세계적으로 [표 4]에 열거된 분야의 관측장비가 현재 운영 중에 있더라도 더욱 개선될 필요가 있거나 새로운 방법으로 개발이 진행되고 있음을 뜻한다.

특기할 만한 사항으로서 아직도 강수(특히 고체강수) 측정에 있어 문제가 있어 개선이 필요하다는 점이다. 이는 발표주제의 수가 16건으로 가장 많은 것으로부터 추측할 수 있다. 그리고 기상레이더, 고층 관측용 Radiosonde, 자동기상관측장비(AWS)가 세계 공통의 관심대상이라는 점이 확인되었다. 또한 온도, 습도, 차광통 등과 같은 기본적인 전통적인 관측분야의 장비도 여전히 논의의 대상이 된다는 점은 주목할 사항이다. 그밖에 빛이나 전파를 이용한 각종 원격탐측장비는 더욱 개선되어야 할 여지가 많음을 시사한다.

#### 4. 세계적 현황에 비추어 본 우리의 위치

우리나라의 기상장비 제조사는 현재 [표 2]의 분류에서 B 및 E형에 해당되는 것으로 보며, 국내외적 여건을 고려할 때 A형으로의 확장을 목표로 삼기보다는 우선적으로 B, E형의 충실도를 기하고 D형에 대한 관심과 연구개발이 필요할 것으로 사료된다.

우리나라의 2개 업체가 HMEI 회원사로 가입되어 있는 점은 매우 고무적이거나, 이 업체와 그 외의 기상장비 업체 모두는 실제 내용 즉 기술력 측면에서는 세

계적으로 인정받을 수 있는 독자적 기상장비를 갖추고 있지 않아 국제적 경쟁력이 없는 것으로 보인다.

앞서 공공부문과 민간기업의 연결과 관련하여 예로 든 프랑스의 MFI나 일본의 JMBSC가 자국의 기상장비 산업을 지원하여 왔고, 그 이외에도 기상장비의 선진국인 미국, 핀란드 등은 인지도가 높은 첨단 기상장비 개발에 국가의 정책적 및 재정적 지원이 있어 왔다. 그러나 우리의 경우 과거에는 민간부문의 기상장비 개발에 뚜렷한 정부지원이 없는 편이었다.

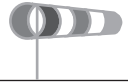
더구나 TECO-2008에 나타난 기상장비에 대한 세계적 관심분야를 고려할 때, 우리나라가 기상장비 개발에 있어 지향하여야 할 분야는 기본적인 센서의 개선 및 신제품 개발 그리고 원격탐측 원리를 이용한 지능형 센서의 국산화 개발이라는 과제를 도출할 수 있다.

한편 최근에 '기후변화 대응'과 '녹색성장'을 목표로 하는 국가 정책기조에 맞추어 환경부(기상청)를 중심으로 기상장비 개발을 포함한 기상산업 진흥이 중요한 현안으로 대두되어 가시적 추진방안이 기획되고 있는 점은 매우 건설적이고 희망적이라 할 수 있다.

### III. 기상장비 국산화 전략

#### 1. 현황 및 문제점

현재 우리나라는 전자산업과 정보처리 분야 등 관련



기술수준이 높으나 이 기술이 기상장비 개발에 적용되지 않아 기초적인 자동기상관측장비(AWS)만이 상용 가능한 수준으로 국산화된 실정이다. 이 AWS는 1988년 이래 국내 수요를 충족하도록 개발되어 왔으나 국제 경쟁력 측면에서의 기술 수준은 미흡하여 풍향·풍속계, 온도계, 차광통, 우량계 그리고 데이터로거 정도만 정규 기상관측에 사용될 뿐이다.

기상장비 수요의 중심에 있는 기상청의 2008년 기상기자재 구매 예산 약 300억 원 중 순수한 기상관측장비 구매예산은 약 220억 원을 상회하고 있으나 이의 6%인 약 14억 원만이 AWS와 같은 국산장비 구매용이고 약 200억 원이 외국장비 구매에 소요된 셈이다. 한편 2009년 예산의 경우에는 기상기자재 구매에 총 760억 원이 책정되어 괄목할 만한 증가를 보였으나, 슈퍼컴퓨터 및 기상관측선 예산을 제외하면 실제적으로는 170억원 수준으로 감소된 것으로 보인다. 더구나 순수 기상관측장비 구매예산은 90억 원 수준에 머물러 지난해의 절반에도 미치지 못하는 것으로 분석된다. 이 중 AWS 관련 국산장비 구매에 약 13억 원이 소요될 것이므로 나머지 80억원은 여전히 외국장비 도입에 투입될 예정이다. 따라서, 기상장비의 국산화 사업이 조기에 육성될 필요가 있다.

주요 수입품목인 첨단 기상장비는 주로 전파, 광파, 음파를 이용한 원격탐측(Remote Sensing) 시스템 또는 지능형 센서류로서 정밀한 하드웨어와 고도의 신호처리 및 자료분석 소프트웨어가 결합되어 있어 이의 개발에는 고급 이론과 기술의 적용 그리고 충분한 시간과 비용의 투자가 요구된다.

최근 2007년부터 기상청은 중소기업청 주관의 구매조건부 신제품개발 사업을 통하여 장비 국산화를 추진하게 되어 현재 5개 과제가 수행되고 있으나 아직 체계적이고 효과적인 사업 수행을 위한 제도적 인프라 구축이 필요한 실정이다. 특히, 구매조건부 신제품개발 사업은 개발기업과 구매기관 간의 긴밀한 협조 아래 장비국산화를 이루고자 하는 당초의 취지를 명확하게 살릴 필요가 있다.

예를 들어, 개발된 장비가 세계적 수준의 성능에 다소 미달 되더라도 유지보수 의 즉시성 등의 장점을 고려하여 채택하는 자세가 필요할뿐더러 시범적 현업 사용을 통하여 문제점을 발굴하여 지속적으로 성능을 보완시키는 기술상의 선순환을 유도하는 적극적인 의지가 필요한 것으로 보인다.

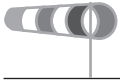
기상청 이외에 수문, 해양, 환경, 방재, 보건 분야 중앙정부기관 및 지자체의 수요가 늘고 있으나 근본적으로 내수시장의 규모가 작으며, 현재의 기상장비 제조관련 업체는 영세한 수준에서 벗어나지 못해 독자적으로 첨단 기상장비를 개발할 수 있는 여건이 아니므로 국가적 정책수단 구비 및 연구개발 투자 등 지원이 절실하다.

## 2. 기상장비 국산화 촉진 전략

### 1) 국산화 대상 검토

#### ① GPS 라디오존데 국산화

기상청은 매년 약 4,600대의 고층기상관측용 라디오존데(Radiosonde)를 외국에서 구매하는데 약 16



역원의 예산을 투입하고 있으며 국방 분야에서도 상당량의 수요가 있어 이를 국산화할 경우 수입대체 효과가 지대하다. 나아가 공인기관(WMO, 기상청 등)이 국산장비의 성능을 검증할 경우에는 수출이 가능하다.

② 기본적 기상관측용 센서 개선 및 개발

자동기상관측장비(AWS, ASOS, AMOS 등)에 사용되는 센서가 대부분 국산화되어 있다고 하나 세계적인 기술 경쟁력을 갖도록 성능을 개선하거나 추가적인 센서 개발이 필요하며, 비교적 기술적으로 용이한 분야이므로 조기 착수를 고려하여야 한다.

③ 지능형 센서 국산화 및 개발

시정계, 현재일기관측장비(Present Weather Sensor), 운고계, 라이다(Lidar)와 같은 원격탐측기술이 응용되는 지능형 센서는 규모가 작고 비교적 접근이 용이한 편이며 국내외 수요가 많고 부가가치가 높으므로 국산화 또는 자체개발에 적합하다.

④ 대형 원격탐측 장비 국산화 및 개발

기상레이더, 기상위성 수신분석장비와 같이 규모가 크고 타 분야와의 연관성이 깊은 장비에 대해서는 타 분야의 기술수준과 개발 후의 국내외 수요를 종합적으로 고려한 국산화 전략의 수립이 필요하다.

2) 지원정책의 검토 및 제안

검토사항 1 : 최근 기상청이 ‘기상산업진흥법’ 제정 추진과 중소기업청의 ‘구매조건부 신제품개발사업’

참여 등 기상산업 육성에 관심을 늘려가고 있으나 본격적인 기상장비 국산화 및 개발 동력으로는 미흡하므로 관·산·학·연 협력으로 시너지 효과를 도출하는 제도의 마련이 필요하다.

검토사항 2 : 기상장비 국산화는 수입 대체효과와 경중과 향후 국제적 경쟁력을 고려하여 대상 장비를 정하고 상당 기간이 소요되더라도 성공적 결과가 산출되도록 지속적으로 추진하되, 우리의 기술수준에서 도달할 수 있는 목표의 단계적 설정과 현실적 평가기준 개발 등 기술적 인프라의 지원체계 구축이 전제되어야 한다.

검토사항 3 : 세계적으로도 기상장비 시장은 제한적이므로 세계 일류의 기상장비를 국산화 개발하기 위해서는 연구개발비의 지속적인 투입은 물론 공공 부문에서의 일정 규모의 내수시장 확보가 절실하다.

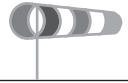
《정책 제안》

① 기상청에 기상장비 국산화 지원 주관부서 설치

- ▶ 구매조건부 사업 등 지원방안의 체계적 기획 및 예산 확보
- ▶ 공공부문의 수요확대 등 내수시장 확보방안 강구
- ▶ 기상장비의 국제적 신뢰성 획득 지원을 위한 체계 개발 및 시행

② 국립기상연구소에 기상장비 기술표준 관리 및 평가 담당부서 설치

- ▶ 장비 검·교정 기술 및 합리적 RFP 규격 개발 등 기술 인프라 확립

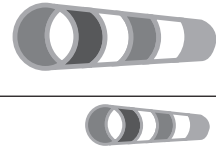


- ▶ 신제품 신뢰성 검증을 위한 성능평가(비교관측) 기법 개발 및 시행
- ③ 기상장비 국산화 및 신제품 개발 관련 주체간의 컨센서스 조성
  - ▶ 기상청, 국립기상연구소, 장비제조 업체, 학계 및 연구조직 전문가 그룹으로 구성되는 협의체 구성
- ④ 기상지진기술 R&D 사업에 기상장비 국산화 프로젝트 비중 강화
  - ▶ 협동 연구개발로 다각적 기술력을 결집시켜 시너지 창출
  - ▶ 연구성과의 검증과 상용화까지의 지속성과 완결성 확보 필요
- ⑤ 중소기업 지원사업 및 KOICA 국제 협력사업에 능동적 참여 및 활용 확대
  - ▶ 다양한 지원제도의 발굴 및 적용 촉구 및 기상장비분야 지원비중 제고
- ⑥ 외국 첨단장비 도입 시 선진기술의 국내이전을 유도
  - ▶ 입찰제안서 평가기준에 제작사 사전교육, 기술이전 정도, 예비품 확보 상태 등을 고려하여 기술이전을 꺼리는 외국 제작사에 대한 영향력 부여
- ⑦ 민간지원이 공공부문의 성과가 되는 업무프로세스 개발 및 정착

- ▶ 기상장비개발을 포함한 기상산업의 발전이 곧 기상청의 성과에 포괄되는 유연성 있는 사고와 win-win적 풍토의 조성이 필요
- ▶ HMEI, MFI, JMBCS 등 외국의 사례 참조

### 참고문헌

국무총리실, 2008: 기후변화대응 종합기본계획, 32pp.  
 기상청, 2008: 기상산업 발전 실천계획, 기상산업정책포럼 자료, 16pp.  
 중소기업청, 2009: 중소기업 기술개발지원사업 관리지침, 74pp.  
 환경부(총괄), 2008: 국가 기후변화 적응 종합계획, 공청회 자료, 53pp.  
 WMO, Papers and Posters presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation, IOM-No.96(TD 1462)  
<http://www.kma.go.kr>  
<http://www.wmo.int>  
<http://www.hydrometeoindustry.org>  
<http://www.mfi.fr>  
<http://www.jmbcs.or.jp>



## 기상장비 수출 산업화를 위한 성공전략

이 종 국

데이터 PCS(주) 대표

iklee@datapcs.co.kr

### I. 서론

기상산업의 활성화가 그 어느 때보다도 중요하게 여겨지는 시점에서 국내 기상산업 발전의 시금석으로 여겨지고 있는 기상장비의 국산화는 앞으로 전 지구적 기후변화에 능동적으로 대처하는 국가적 대비책의 필수적 요소로 자리매김하고 있다. 그러나 기상장비 시장의 특수성과 시장규모로 인하여 국내의 실정은 그 필요성에 비하여 상대적으로 국제 경쟁력이 뒤쳐진 분야이기도 하다. 기상장비 국산화 분야는 독자적인 기상정보의 생산과 국가적 경쟁력 향상을 위하여 수익성에 기초된 시장원리를 초월한 국가적인 차원에서의 정책이 필요한 실정이다.

그러나 기상장비 산업의 특성상 경쟁력을 갖추지 못한 장비의 생산은 결국 시장원리에 따라 도태될

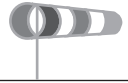
수밖에 없는 현실에서 어떻게 하면 지속적으로 경쟁력을 확보하고 나아가 세계시장에서 당당히 경쟁할 수 있는 기상장비의 성공적인 국산화는 어떠한 전략을 수립하고 추진해야 하는가가 매우 중요한 요소가 될 것이다. 여기서는 지난 20년간에 걸친 필자의 기상장비 유관분야(수문기상분야)의 장비와 상품개발 경험을 바탕으로 현 시점에서의 성공적인 기상장비 국산화 전략을 가늠해 보고자 한다.

### II. 기상장비 국산화 필요성 인식

국민이 요구하는 기상정보 생산의무

전 지구적 기후변화에 능동적으로 대처할 수 있는 고품질 기상정보를 생산하기 위한 필수조건으로서 기상자료를 효과적으로 수집할 수 있는 기상장비의





중요성에 대한 새로운 인식은 기상장비 국산화 필요성에 있어서 대전제이다.

#### 경제성, 지속성, 품질유지, 사용성의 제고

국민의 요구에 부응할 수 있는 기상자료의 수집을 위한 기상장비 국산화의 전제조건은 경제성과 지속성이 보장되며 품질과 사용성이 수반되는 장비가 될 것이며 또한 이러한 장비의 보급과 생산이 원활한 환경을 구축하는데 있다.

#### 국가 중대 현안에 대한 서비스의 개선

정확한 기상정보의 생산은 국내에서 가장 시급하고 절실한 실정이며 이러한 정보를 생산할 환경을 구축하는 작업은 국가적인 현안을 해결하는 과정으로 인식되어야 한다. 즉, 기상장비 국산화란 단순한 산업적인 접근이 아니라 큰 틀에서는 국민의 삶을 안전하고 풍요롭게 하는 최우선 과제라는 인식에 기초되어야 한다.

#### 국지적 기상현상에 대한 대응책

기후변화와 온난화에 병행한 국지적 기상변화에 대한 대비책으로서 기상자료 수집에 대한 관심이 증가하고 있으며 이러한 동향은 기상장비 국산화에 대한 필요성을 더욱 증대시키고 있다. 특히 국지적 기상현상을 보다 정확히 파악하기 위한 새로운 기상장비 개발의 필요성은 더 이상 강조할 수 없다.

#### 국내 산업발전 및 고용효과 증대

국제적 경쟁력이 취약한 국내 기상장비 분야의 개척과 경쟁력의 확보는 국내 연관분야의 발전을 유도하고 부가적인 고용창출의 효과를 가져 올 것으로 기대된다.

### Ⅲ. 기상장비 국산화에 대한 시각차

#### 국가기관

기상장비에 대한 국가기관의 인식은 현재의 시장에 대한 인식과 같다고 볼 수 있다. 국가기관의 입장에서는 당면한 고품질 기상자료의 생산을 위하여 국산화된 제품이라도 품질에 대한 제고 없이는 적극적인 사용이 꺼리는 실정이다. 그러나 이러한 품질보증이라는 측면도 언제나 입증할 수 있는 측면이 있는 것이 아니므로 이는 기존시장에서의 기상장비의 점유율과 인지도에 상당부분 좌우된다고 할 수 있을 것이다.

#### 민간기관

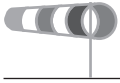
기상장비 선택의 큰 방향은 경제성과 품질을 동시에 고려하는 경향이 많다. 즉 정도가 허락하는 범위(확실치는 않지만) 내에서는 경제성을 우선시하는 경향이 강하므로 기상장비 국산화가 본격적으로 이루어질 때는 첫 번째 시장이 될 수 있는 가능성이 있다.

#### 연구소

기상장비의 개발과정에 깊숙이 참여할 수 있고 기상장비의 품질에 따라서 사용을 달리할 수 있는 환경이 존재한다. 따라서 초기에 개발된 국산 기상장비를 사용하고 그 평가를 할 수 있다. 사용자가 없는 장비의 개발은 그 장비의 성능과 관계없이 사장됨으로 연구를 중심으로 하는 베타 사용자의 확보는 아주 중요한 사항이다.

#### 학교

기상장비를 사용하는 학교는 시장에서 양산되고 가



격 경쟁력이 있는 제품을 사용하는 경향이 있으므로 기상장비 국산화 후반기에 중요한 사용자가 될 수 있다. 학교는 고가의 기상장비 구입에 어려움이 존재하나 저가의 기상장비 소비는 다수의 사용자를 확보할 수 있으므로 범용의 기상장비를 국산화 할 때 중요한 역할을 할 수 있다.

#### IV. 기상장비 국산화 성공을 위한 전제조건

##### 시장조사

###### ● 국내시장

기상장비의 국산화 성공의 열쇠는 결국 장비를 필요로 하는 시장의 크기와 성숙도에 달려 있다. 현재의 국내시장의 경향은 고급 기상장비의 수요를 전적으로 해외에 의존하고 있는 실정이며 이러한 경향은 계속될 것으로 판단된다. 또한 국산 기상장비에 대한 국내 시장의 입장은 국산 기상장비가 갖는 가격 경쟁력을 확보한 분야에만 집중되어 있으며 제품에 질과 다양성에 의해 결정되기 보다는 상대적 가격경쟁력에 있다고 볼 수 있다. 기상현상 자체가 전 지구적인 현상이므로 기상장비의 개발 또한 지역적 우위성을 확보하는 것 자체가 어려움이 있다. 궁극적으로 국내시장은 지속적인 품질과 혁신 그리고 시장을 선점한 장비가 차지할 것이다.

###### ● 해외시장

기상장비의 특성상 나라별 차이를 두지 않기 때문에 상품성이 뛰어난 제품이 전 세계에서 환영받고

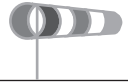
있는 실정이다. 핀란드의 Vaisala, 미국의 Campbell Scientific, 노르웨이의 Aanderaa 등은 대표적인 글로벌 브랜드 제품이며 이런 회사의 제품은 기상분야의 특성상 상당히 오랫동안 시장을 지배하는 특성을 지니고 있다. 세계시장을 대상으로 하는 제품의 특성은 시장의 크기에 맞는 개발 자금의 투입능력과 인력을 확보할 수 있는가에 좌우됨으로 국산 기상장비의 세계시장 진입에 있어 장벽으로 작용한다. 따라서 세계시장의 상황을 면밀히 분석하고 국산 기상장비의 개발전략을 수립하는 것이 무엇보다 중요하다.

###### 기상장비의 특수성 및 부가가치에 대한 인식

한 국가의 기상정보의 수준을 좌우하는 기상장비의 중요성을 아무리 강조해도 지나침이 없다. 따라서 기상장비는 일반 장비에 비하여 최고의 성능과 품질을 유지해야할 이유가 있다. 그러나 기상정보를 생산하는 측면에서 볼 때 장비의 활용도는 극히 제한적이며 정부나 전문가 집단에서 주로 활용되고 있다. 따라서 기상장비의 생산자는 한정된 시장의 크기로 인하여 대량생산과 고수익을 기대하기 힘들며 투입되는 개발기간과 인력에 대한 요구가 다른 장비에 비하여 상대적으로 높은 편이다. 이러한 예는 노래방 기기를 만드는 우리나라의 유수의 전자회사가 처음에는 분석계측기로 업종을 잡았다가 시장의 요구에 따라 노래방기기로 전환한 사례로 비추어 국내시장의 열악함을 짐작해 볼 수 있다.

###### 기존시장 상품에 대한 분석

기상장비는 첨단기술이 투입된 고급 장비이다. 따라서 개발을 위한 인력과 기술이 상당한 난이도를 요



구한다. 또한 기상장비의 사용과 유지보수도 높은 수준의 지식을 요구하기 때문에 기상장비는 전문가 시장을 형성하고 있다. 이러한 전문가 시장의 추세는 점진적이면서 순환이 느리고 시장을 차지하기 위해서는 오랜 시간이 걸리는 특징이 있다. 따라서 시장진입을 노리는 신생업체는 원하는 결과를 만들기까지 상당한 시간과 노력이 따른다. 이러한 시장과 상품의 특성상 신생업체는 대단한 인내가 필요한 분야이다. 더구나 기상기술에 대한 연구나 지식이 선진국을 중심으로 축적되어 있기 때문에 선진국에서 사용하기 시작한 상품이 국가에 관계없이 통용되는 특성도 갖고 있다. 따라서 고급 기상장비는 고가임에서도 불구하고 국제적으로 인정을 받고 있는 상품이 널리 쓰이고 있다.

#### 기후변화에 대비한 기상장비 수요분야 결정

점점 뚜렷해지고 있는 전 지구적 기후변화에 대비하는 첨병으로서 기상장비의 중요성을 더 강조할 수 없다. 새로운 현상과 미지의 현상을 심층적으로 연구하고 원인을 찾기 위해서는 기상자료의 수집이 필수적이고 이 같은 요구는 첨단 기상장비에 대한 욕구를 증대시킬 것이다. 따라서 시장경쟁력이 확보될 수 있는 경우에는 기상장비의 개발과 생산에 국가의 역량을 집중하는 것은 기후변화에 능동적으로 대처하는 국가적인 사업이며 이러한 기후변화를 효과적으로 감지할 수 있는 기상장비 분야가 어떠한 것인지를 신속한 연구와 개발을 통하여 보여주어야 할 것이다.

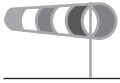
#### 상대적 경쟁력이 확보된 분야 선정

시장경제를 실현하고 있는 국가에서 국가적인 중요

성을 지니는 기상장비라 하더라도 궁극적으로 시장의 요구에 부응하여야 살아남을 수 있다. 동종의 제품을 여러 곳에서 생산할 경우 경쟁력을 상실한 기상장비는 궁극적으로 도태될 것이다. 따라서 기상장비의 생산에 있어서도 상대적으로 국제경쟁력을 갖춘 분야를 선정하고 에너지를 집중해야 시장에서의 우위를 차지할 수 있을 것이다. 대한민국의 경쟁력은 IT를 주 무기로 하는 신속한 정보의 흐름과 높은 생산기술에 있으므로 이러한 경향을 반영하는 기상장비 분야를 선정하고 세계 최고의 제품을 만들도록 에너지를 집중하여야 한다. 한편 새로운 분야를 개척할 경우에는 시장에서의 선점이 우선됨으로 이제까지 볼 수 없던 신개념의 기상장비가 탄생할 수 있도록 과감한 연구 및 기술 개발 투자를 통하여 세계 최초의 기상장비를 만드는데 노력을 다할 필요가 있다.

#### 해외 시장에 대한 업체 동향분석

기상장비 메이저 회사들의 동향은 앞으로 기상장비가 나아갈 분야를 가늠하는 풍향계가 될 수 있다. 꾸준한 시장조사와 동향조사를 통하여 기상장비 분야의 기술추이와 사업방향을 모니터링 하고 적절한 대비책을 세움으로서 기상장비 국산화를 추진한다면 국내의 업체가 세계시장에 진출할 때 시장의 포화되거나 차단되는 경우가 발생하지 않을 것이다. 특히 해외업체의 특허동향은 기상장비 개발 전에 면밀히 분석하여 개발된 장비가 특허권 때문에 빛도 보지 못하고 사장되는 경우가 없도록 해야 한다. 기상장비의 특수성 때문에 이러한 상품에 대한 권리는 절대적이며 특허권에 대한 사전조사 없이는 세계적인 상품을 만들어도 경쟁력을 유지하는 것은 불가능하다.



전문가 및 기술시장에 대한 특수성 인식

기상장비 시장은 전문가 시장이다. 전체국민에 비하여 소수가 선택하여 사용하는 특수 장비임으로 기기 사용에 관한 매뉴얼, 사용예, 부가기술도서 등이 꼭 갖추어져야 한다. 특히 세계 각지의 전문가가 현장경험을 토대로 작성한 기상장비의 사용 예와 논문은 새로운 기상장비의 품평에 미치는 영향이 절대적이기 때문에 연구소나 학교의 전문가와 제휴하여 개발된 장비의 품질을 입증하는 다양한 자료를 생산하고 이러한 자료를 적절히 제품의 홍보에 사용함으로써 이 기상장비를 선택할 사용자에게 신뢰를 구축하여야 한다.

국내 기상장비 제작기술 수준에 대한 조사

강우량계, AWS 장비, 몇 가지 기상센서등의 제작에는 다년간 업체에서 경험을 쌓은 기술자들을 중심으로 제작되고 있고 그 수준도 국제적으로 통용될 수 있는 기술의 단계에 있다고 볼 수 있다. 그러나 첨단기의 기상장비, 즉 예로 들면 3차원 초음파 풍향풍속계, Radar, RadioSonde, 대기층 프로파일러, 지진계, 고정밀 온습도계 등 아직도 기술의 격차가 크게 벌어지고 있다. 이러한 현상은 원인은 제작기술의 원천적인 후진성에 기인하기 보다는 협소한 국내 시장 때문에 개발이 대한 의욕이 부족하고 또 세계 시장에 진출하기 위해서는 후발주사로서의 부담이 너무 큰 실정이다.

V. 기상장비 국산화를 위한 국내 기술수준 검토

이론적 학술적 검토

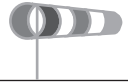
일부 범용기상장비를 제외한 국내의 기상장비의 수준은 초보적인 수준이라고 할 수 있다. 기상청을 중심으로 정부기관에서 운영하고 있는 AWS 에 투입되는 기본 기상장비 외에 이렇다 할 국산 기상장비가 없는 실정이고 또한 이 현상은 국내의 기상장비의 개발과 연구분야의 취약성을 잘 보여주고 있다. 비교하자면 세계적인 휴대폰을 만드는 삼성과 LG도 기상장비의 생산에는 전혀 관여하지 않으므로 대학과 연구소에서 소수의 전문 인력에 의해서만 기상장비의 국산화에 대한 노력과 인식이 있을 뿐이다. 최소한 3-5년 썩 소요되는 신 개념의 기상장비의 개발에 연구비를 투여할 수 있는 수준이 될 때 기상장비에 대한 이론적 학술적인 연구가 선행될 수 있을 것이다.

국내 전문가 기술자 현황조사 및 확보 여부

아무리 좋은 기술을 개발하였다 하더라도 이 기술을 제품으로 만드는 생산기술자의 확보 없이는 장비의 생산은 불가능하다. 특히 기상장비는 고정확, 고정밀의 생산기술이 필요한 분야이기 때문에 기상장비의 국산화를 시도하기 전에 이 분야의 전문 기술자의 확보 가능여부를 판단해야 할 것이다. 현재 국내의 기상관련 대학에서 제공하지 못하는 기상장비 개발 전문 인력은 국가적인 차원에서 관리하는 시스템을 통하여 양성될 수 있도록 제도적인 장치가 마련되어야 할 것이다. 신속한 개발과 우수한 제품을 만들기 위해서는 타 분야의 탁월한 기술자를 유도할 수 있는 환경도 갖추어야 함은 물론이다.

세계적인 시장경쟁력을 확보할 수 있는 분야의 검토

후발주자가 같은 아이템을 갖고서 세계시장에 뛰어



드는 일은 선발주자에 비하여 몇 배의 노력과 자금이 필요하다. 따라서 후발주자는 선발주자가 미처 생각하지 못한 분야나 상대적으로 경쟁력이 떨어지는 분야를 선정하여 시장진입을 시도하여야 한다. 이러한 선택과 집중의 법칙은 기상장비의 특성상 절대적이며 기상장비의 국산화의 궁극적인 목적달성을 위해서도 꼭 염두에 두어야 할 사항이다.

## VI. 기상장비 국산화를 위한 연구 환경의 구축

### 장기 연구 사업을 통한 기술과 인력개발

기상장비 국산화의 중요성에도 불구하고 이제까지 국내에서 제대로 된 기상장비 개발 장기연구 사업이 없었다. 기상장비의 특성상 초기에 시장을 확보하기가 어렵기 때문에 업체와 관련분야에서는 기상장비를 국산화하는데 적극적으로 나설 수 없다. 따라서 이러한 풍토를 개선하기 위한 첫 번째 조건은 국가적인 장기 연구 사업을 통하여 기상장비 국산화 연구를 추진해야 하고 개발된 장비의 사용과 상품화가 추진되어야 한다. 특히 우리나라의 성격상 매우 취약한 다 학제간의 연구개발 사업을 적극 유도함으로써 타 분야의 고급인력이 기상장비 개발 분야에 장기간 투입될 수 있도록 해야 세계적인 경쟁력을 갖춘 기술과 인력이 확보될 수 있다. 학교에 의존하는 현재의 인력수급은 상당한 애로점을 내포하고 있다.

### 전담 정부 연구부서의 신설, 연구지원제도 수립 및 정부구매 관행 개선

중국이 Sinrad를 독자적으로 개발하여 세계적인 상품을 만들듯이 기상장비의 국산화에 있어서 국가적

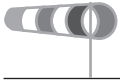
인 사업을 관장할 국가 전문연구 부서와 실행부서의 신설이다. 이 부서가 체계적으로 연구를 지원하는 프로그램을 만들고 정부 내 각 수요처에서 우선적으로 개발된 제품을 사용할 수 있도록 정부구매 절차를 마련하고 국산화된 장비가 시장에서 완전히 뿌리를 내릴 때 까지 지원할 수 있어야 한다. 앞서 언급했듯이 전문시장의 특성상 이러한 국가지원이 없이는 초기시장 진출이 매우 어려운 실정이고 소비자 또한 공공의 목적을 위하여 주로 사용되기 때문에 국가의 역할을 아무리 강조해도 지나침이 없다.

### 산학연의 역할분담을 통한 연구 경쟁력 확보

기상장비를 생산할 수 있는 기술개발과 생산 그리고 품질평가를 하나의 기관에서 총괄하는 것은 난관이 매우 많다. 따라서 기상장비 국산화의 체계적인 모습은 연구소의 개발과정과 업체의 생산과정 그리고 학교의 품질평가를 거쳐서 이루어지는 것이 바람직하다. 다만 이러한 과정이 어려울 경우에는 적어도 동종의 분야의 기술자들의 협력하여 각자의 장점을 최대한 살리는 역할분담을 통해서 개발된 장비가 경쟁력을 갖추 수 있도록 해야 한다.

### 법률지원을 받는 체계적인 국산화 지원

지구온난화와 기후변화의 심각성에 비추어 기상장비의 국산화는 그 의미가 아무리 강조되어도 지나치지 않으며 따라서 이러한 노력을 국가적으로 뒷받침 할 때 근거가 될 수 있는 지원 법률의 제정을 필수적이다. 법률의 내용은 체계적인 연구를 활성화 할 수 있는 연구 사업에 대한 근거와 공공구매제도의 개선, 장비생산을 위한 투자자금의 원활한 조달을 보증하는 지원책이 법률적으로 보장되는 내용이어야 한다.



## VII. 단계별 성장전략 및 세계시장 진출

### 단계별 기상장비 국산화 전략수립

전문시장은 개발기간이 오래 소요되는 특성이 있다. 따라서 목적인 장비의 국산화와 세계시장의 진출은 연차적으로 계획된 개발전략이 수립되어야 하고 단계별로 성과를 점검하면서 최종 목적을 달성할 수 있는 체계가 마련되어야 한다. 이러한 과정은 장기 연구사업 과정과 맞물려서 추진되어야 하고 중간평가를 통한 개선과 방향수정 그리고 새로운 기술의 접목 등이 가능한 방향으로 보완되고 관리되어야 한다. 따라서 최소 5년 정도의 연구기간이 설정되고 나아가 10년 이상 지원이 계속될 수 있는 전략수립이 필요하다.

### 세계시장을 이끄는 선도업체와의 기술교류 확대

국산화는 결국 세계화와 같다. 그 이유는 국산화의 목적을 달성하기 위해서는 지속적인 상품화가 필요하며 지속성을 유지하기 위해서는 장비를 생산하는 업체의 이익이 보장될 때에만 가능한 것이다. 따라서 기상장비 국산화의 초기에는 세계시장을 이끄는 선도업체와의 활발한 교류와 기술이전을 통하여 국산화의 초석을 다지면서 점차적으로 확보된 기술을 독자적인 기상장비 개발에 응용하는 환경이 구축되어야 한다. 특히 선도업체의 경험을 겸허히 수용하여 똑같은 시행착오를 미연에 방지하는 일은 아주 중요하다.

### 세계 기상장비 전문가 그룹과의 인적네트워크 구축

기상장비의 국산화의 완성은 세계시장에 우뚝 서는

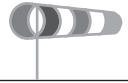
것이다. 무조건 국산화만이 중요한 것이 아니고 국산화된 장비가 다시 세계시장에 진출해야만 목적을 달성할 수 있다. 이때 세계 시장진출을 위해서는 전문 제품의 특성을 알리는 해외전문가의 추천과 사용실적이 중요하다. 따라서 세계 학회나 전시회 등을 통하여 구축된 전 세계 인적네트워크를 중심으로 개발된 장비가 해외에서 사용될 수 있도록 유도해야 하고 사용자가 증가할수록 기상장비 국산화의 확실한 모습을 그려낼 수 있을 것이다.

### 세계 최초의 신개념 기상장비 도전 계획 수립

기존의 기상장비 시장은 이미 심각한 경쟁에 직면하고 있다. 기상장비의 국산화에 있어서도 가장 큰 도전은 바로 시장을 선점하고 있는 제품과의 경쟁일 것이다. 따라서 궁극적으로 국산화와 세계화를 달성하는 방법으로서 세계 최초의 기상장비에 거는 기대는 매우 크다. 초기 시장을 선점함으로써 얻는 이득은 기존시장에서 얻지 못하는 다양한 이점을 확보할 수 있기 때문이다. '세계 최초가 되라 최고가 되기 전에'라는 마케팅의 첫 번째 법칙을 기억하자.

### 활발한 국제교류 및 학회활동을 통한 개발된 기상장비의 국제화 추진

세계시장 진출을 하기 위해서는 결국 활발한 국제교류가 있어야 한다. 세계의 전문가 시장에서 자리를 차지하는 것은 세계의 전문가에게 알려지는 것과 똑 같다고 할 수 있다. 이러한 기회는 다양한 국제교류 활동, 학회, 워크숍, 전시회 등을 통해서 이루어져야 하고 중요한 경우에는 저명한 전문가를 연구사업 초기부터 참여시켜 궁극적으로 국제화가 달성되는 전략이 필요하다.



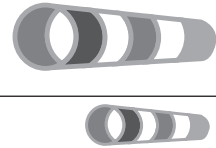
## VIII. 결론

기상장비의 국산화는 여러가지 어려움을 내포하고 있다. 이미 포화된 기상장비 시장에서 국산화가 갖는 의미는 단순히 국내에서 제작된 장비의 개념을 넘어 세계시장에서 당당히 어깨를 겨룰 수 있는 장비의 개발과 생산 그리고 상품화를 의미할 것이다. 따라서 후발주사로서 이러한 시장에 진입하기 위해서는 선택과 집중이 필요하며 우리나라의 장점을 반영할 수 있는 분야에 집중 투자함으로써 경쟁력을 확보할 수 있도록 해야 할 것이다.

상대적으로 기상장비 시장의 고용창출 기회는 적겠지만 기상장비의 국산화는 지구 온난화와 기후변화에 능동적으로 대처하는 우리의 역량을 증가시킴으

로서 결국은 국가적으로 매우 중요한 과제가 됨에 틀림이 없다. 따라서 법률적으로 뒷받침되고 체계적으로 수립된 연구개발 사업을 통하여 세계적인 기상장비 개발을 유도함으로써 기상장비의 국산화가 추진될 수 있도록 환경을 구축하는 일이 꼭 필요하다.

필자는 지난 20년간에 걸친 계측 장비의 개발경험과 8년간에 걸친 국가 프론티어 수문기상 계측기기 연구사업의 수행 경험을 비추어 보면 기상장비의 국산화에 있어서 장기 연구사업의 중요성을 아무리 강조해도 지나치지 않는다는 생각을 갖고 있다. 이러한 장기 연구 사업을 통하여 기상장비의 국산화가 확고히 추진될 때 자연스럽게 세계적인 경쟁력을 갖는 기상장비 국산화가 공고히 이루어 질 것이다.



## 기상레이더의 국산화 추진 방안

장 기 호

국립기상연구소 지구환경시스템연구과 기상연구관  
khchang@kma.go.kr

석 미 경

국립기상연구소 지구환경시스템연구과 연구원  
mksuk@kma.go.kr

김 정 희

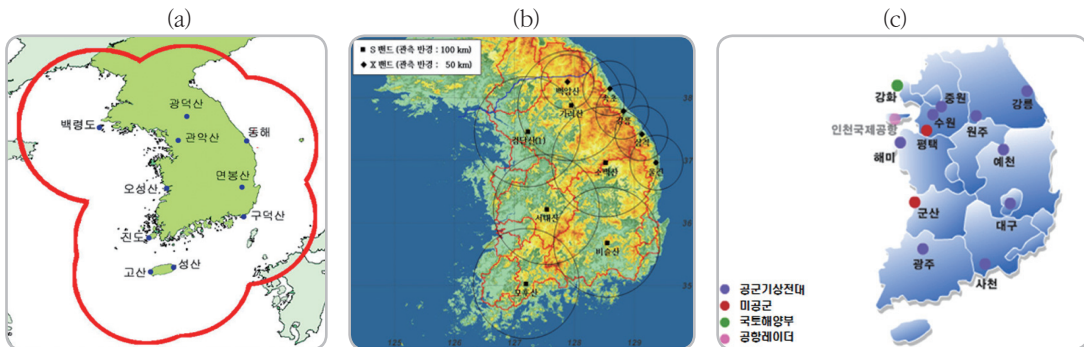
국립기상연구소 지구환경시스템연구과 기상연구관  
jeonghee@kma.go.kr

### I. 기상레이더 현황

#### 1. 기상레이더 소개

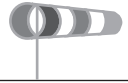
기상레이더(Meteorological Radio Detection And Ranging; RADAR)는 목표물을 향해 전파를 발사해서 기상목표물에 부딪히면서 되돌아오는 전파 신호를

분석하여, 강수구름의 위치와 이동상태, 강우강도 등을 감시, 추적하는 기상관측 장비이다. 기상레이더의 장점은 조밀한 시·공간 해상도로 반경 200~300 km의 넓은 영역을 관측할 수 있고, 관측이 어려운 해상이나 산악지역 등을 관측할 수 있다는 것이다.



[그림 1] 국내 기상레이더 현황: (a) 기상청, (b) 국토해양부, (c) 공군기상전대.



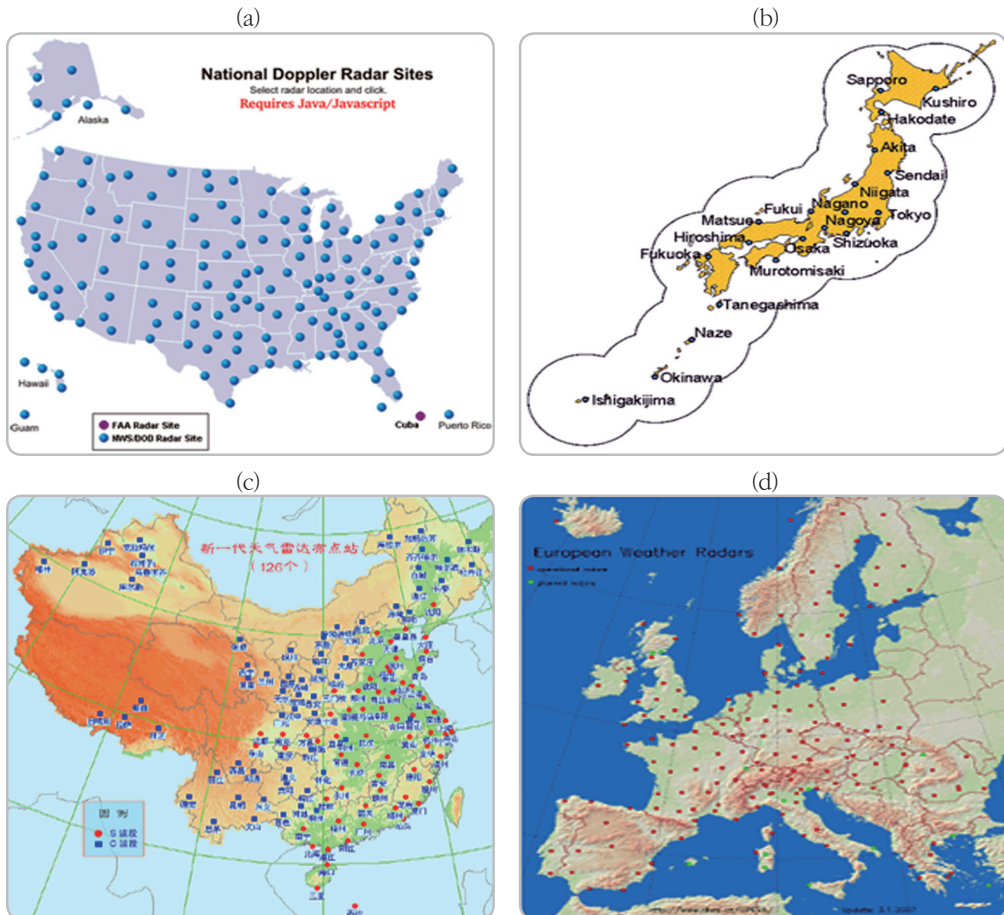


## 2. 국내의 기상레이더 현황

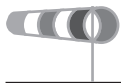
국내에서는 기상레이더를 기상청, 국토해양부, 공군 기상전대에서 설치하여 운영하고 있다. 기상청은 C 밴드 3대, S 밴드 7대로 총 10대를 운영하고 있으며, 국립기상연구소는 연구용으로 X 밴드 레이더 1대를 운영하고 있다. 국토해양부는 C 밴드 1대를 운영하고 있으며, 이종편파 S 밴드 6대, 소형 5대를 신설할 예정이다. 공군기상전대는 C 밴드 9대를 운영하

고 있다. 이 밖에 미공군은 2대의 WSR-88D 레이더, 항공기상청에서 인천국제공항에 1대의 C 밴드 레이더를 운영하고 있다. 이와 같이 국내는 총 35대의 기상레이더가 운영되고 있으며, 모든 기상레이더는 현재 100% 해외 수입에 의존하고 있다.

외국의 레이더 운영현황을 간단하게 살펴보면, 미국기상청은 155대의 WSR-88D 레이더를 운영하고 있으며, EEC, ARC, Baron 등의 제작사가 있다.



[그림 2] 세계의 기상레이더 현황: (a) 미국기상청, (b) 일본기상청, (c) 중국기상청, (d) 유럽.



일본은 Mitsubishi, 도시바, JRC 등에서 제작한 20대의 레이더를 운영하고 있고, 중국기상청은 158대의 CINRAD(Chinese Next Generation RADar) 레이더망을 운영하고 있으며 METSTAR 등의 제작사가 있다. 독일, 영국, 프랑스 등의 유럽공동체는 유럽의 제작회사에서 납품한 150대의 레이더를 운영하고 있다.

### 3. 기상레이더 국산화의 필요성

국내에서는 기상레이더를 외국 업체에서 수입하고 있어, 레이더 운영에 여러 가지 어려움을 겪고 있다. 기상레이더는 제작 및 수리업체가 외국업체이기 때문에 고장발생시 긴급복구가 어려워 길게는 한달간의 수리기간을 가지기도 하며 이로인해 지속적 호우 감시에 위협요소로 작용하고 있다. 또한, 레이더 제작기술의 부재로 신기술의 현업 적용에서 계속 선진국 뒤만 쫓아갈 수 밖에 없는 형국이다. 차세대 레

이더의 기술 선도와 재해기상의 지속적 감시를 위해 첨단 기상레이더의 국내 개발이 이제는 선택이 아닌 필수사항이라고 판단된다.

## II. 소형 기상레이더 개발

앞 절에서 기상레이더 개발의 필요성에 관해 언급하였지만, 기상레이더 제작의 경험이 거의 없는 국내현실에서 대형 C 또는 S 밴드 기상레이더를 개발한다는 것은 투자 위험성이 크기 때문에 일차적으로 소형레이더개발로 기반기술을 축적하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

### 1. 소형 레이더 종류 및 현황

소형 레이더에는 X 밴드, K 밴드, Ka 밴드, W 밴드 등이 있다. [표 1]은 각 레이더 밴드별 주파수와 파

[표 1] 레이더 밴드별 주파수와 파장.

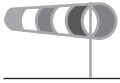
밴드	주파수(GHz)	파장(cm)	기상학적 응용	
			주파수(GHz)	파장(cm)
VHF	0.03 ~ 0.3	100 ~ 1000	-	-
UHF	0.3 ~ 1.0	30 ~ 100	0.42	71
L	1.0 ~ 2.0	15 ~ 30	1.3	23
S	2.0 ~ 4.0	7.5 ~ 15	2.8	10.7
C	4.0 ~ 8.0	3.75 ~ 7.5	5.5	50.5
X	8.0 ~ 12.0	2.5 ~ 3.75	9.4	3.2
Ku	12.0 ~ 18.0	1.67 ~ 2.5	15.5	1.94
K	18.0 ~ 27.0	1.11 ~ 1.67	24	1.25
Ka	27.0 ~ 40.0	0.75 ~ 1.11	35	0.86
Millimeter	40.0 ~ 300	0.10 ~ 0.75	-	-

[표 2] MRR, Vertix, POSS 소형기상레이더의 특성비교

	MRR (Micro Rain Radar)	VertiX (Vertical Pointing X-band)	POSS
개발국	독일	캐나다	캐나다
설치 예시			
밴드	K	X	X
주파수	24.1 GHz	9.4 GHz	10.525 GHz
송수신 방식	FMCW	Pulse Doppler	CW, bi-static
파워	50 mW	23 KW, peak	100 mW
송신기	Gunn Oscillator	Magnetron	(Solidtype)
주파수폭	1.5 ~ 15 MHz	1~20 MHz	30 MHz
생산자료	반사도(dBZ) 낙하속도(m/s) 평균 파워(dBn)	반사도(dBZ) 낙하속도(m/s) 평균 파워 스펙트라	반사도(dBZ) 낙하속도(m/s) 평균 파워 스펙트라
안테나 타입	접시형(offset feed)	접시형	Rectangular pyramidal horn
안테나 크기	0.6 m	1.2 m	7.6 cm & 9.4 cm
안테나 게인	>40 dBi	39 dB or more	17 dBi
빔폭	<2°	1.8°	26°&21°
관측방향	연직	연직	20° from the vertical
펄스폭	-	50/250/500/1000 nsec	-
분해능	10 ~ 200 m	7.5/37.5/75/150 m	-
관측고도	300 ~ 6 km	12 km	< 2 m
저장주기	10 sec ~ 1 hour	2 sec	1 min

장을 나타내었다. X 밴드 파장을 사용하는 레이더에는 E700XD<sup>1)</sup>, Vertix<sup>2)</sup>, POSS<sup>3)</sup> 등이 있고, K 밴드 파장을 사용하는 레이더에는 24.1 GHz의 MRR<sup>4)</sup>,

Ka 밴드 파장을 사용하는 레이더에는 35.5 GHz의 MIRA36-S, W 밴드 파장을 사용하는 레이더에는 95 GHz의 ARM<sup>5)</sup> Cloud Radar가 있다. [표 2]는



대표적 소형 기상레이더인 MRR, Vertix, POSS 특성을 나타낸 것이다.

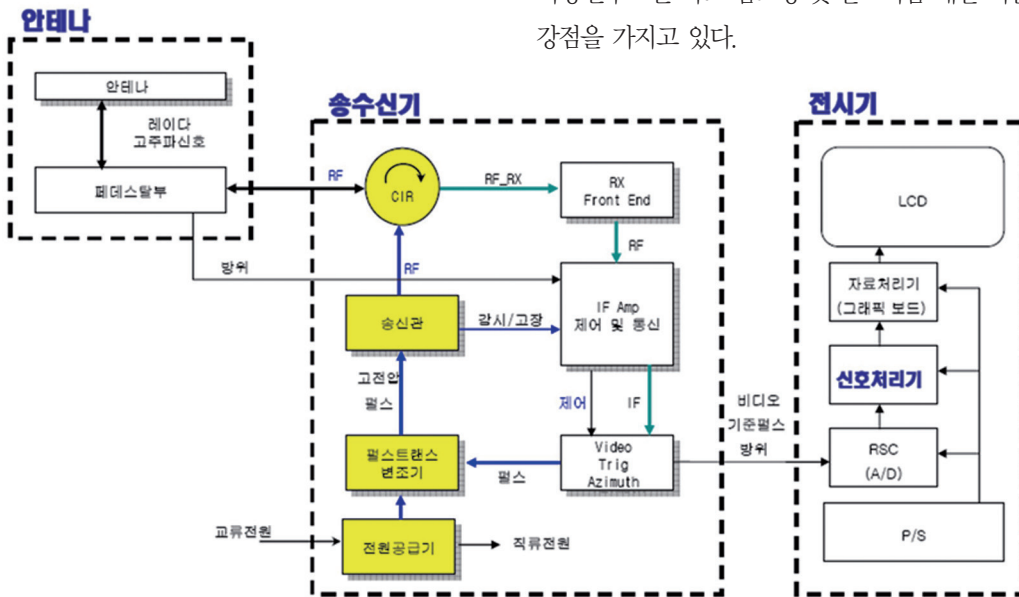
레이더를 국산화하기 위해서는 각 부분에 대한 기술이 필요하다.

### III. 기상레이더 국산화 상황

#### 1. 국산화를 위한 기반 기술

기상레이더를 국산화하기 위해서는 여러 가지 기술이 요구된다. 기상레이더는 크게 안테나, 송수신기, 전시기의 세부분으로 구성된다(그림 3) 참고). 기상

기상레이더의 시스템, 안테나, 송수신부, 신호처리부, 자료처리, 네트워크/전시(표출)를 위해 소요되는 기술을 [표 3]에 나타내었다. 또한 각 기술은 해외협력과 국산화를 통해 확보될 수 있으며, 연구소, 학교, 업체의 공동협력으로 가능할 것이다. 학교와 업체는 표적레이더(기상레이더는 공간스캔, 표적레이더는 면적스캔이라는 차이를 가지고 있으나 표적레이더에서 기상레이더로의 전환은 하드웨어 기술상 큰 어려움은 없다) 개발에 강점을 가지고 있으며 국립기상연구소는 자료 검보정 및 알고리즘 개발 기술에 강점을 가지고 있다.



[그림 3] 기상레이더의 구조.

- 1) E700XD (E700 X-band Doppler radar)
- 2) VertiX (Vertically pointing X-band radar)
- 3) POSS (Precipitation Occurrence Sensor System)
- 4) MRR (Micro Rain Radar)
- 5) ARM (Atmospheric Radiation Measurement)

[표 3] 국산화를 위한 소요기술

구 분	핵심소요기술	보 유	확보방안	비 고
시스템	도플러, 이중편파	○		업체, 학교, 연구소
안테나	파라보릭안테나 Feeder	○		업체
송수신부	Klystron Magnetron	△ ○	해외협력/국산화	업체
신호처리부	I/Q De-modulator Synthesizer	△	해외협력/국산화	업체, 연구소
자료처리		△	해외협력/국산화	업체, 연구소
네트워크/전시		○		업체, 연구소

## 2. 소형 기상레이더 국내개발 사례

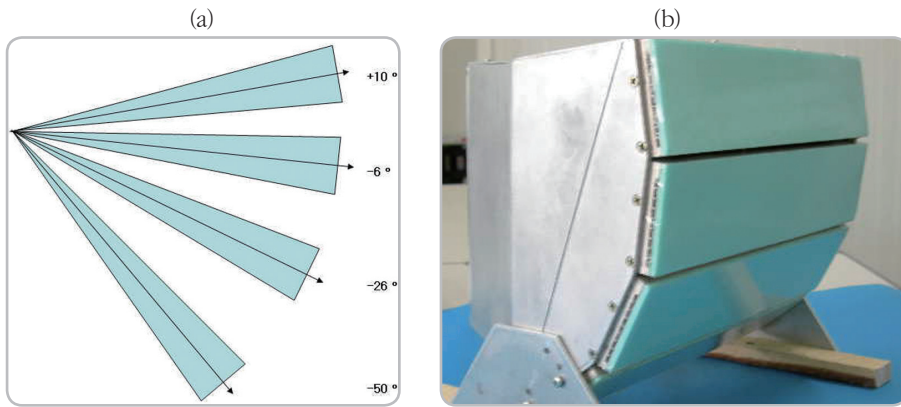
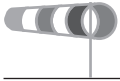
국내에서 기상레이더 개발 현황으로 Ka 밴드 항공기 탑재형 소형레이더를 (주)밀리시스, 항공우주연구원, (주)STX에서 개발한 경험을 가지고 있다. 2002년부터 2007년까지 총 5년 동안 공동개발하였고 국립기상연구소에서 이장비를 활용한 인공증설 검증 및 관측 실험, 그리고 레이더 검보정이 진행되고 있다.

하층빔은 지상으로부터 약 2 km 상공에 있으며, 이로 인하여 지상에서 2 km 까지는 레이더관측공백 지역을 이 소형 레이더를 장착한 항공기로 실황관측이 가능함을 보여주고 있다. 이 날짜에는 강설이 태백산맥을 넘지 않을 것이라 예보되었으나 [그림 6]은 강설이 태백산맥을 넘어가고 있음을 뚜렷하게 보여주고 있다.

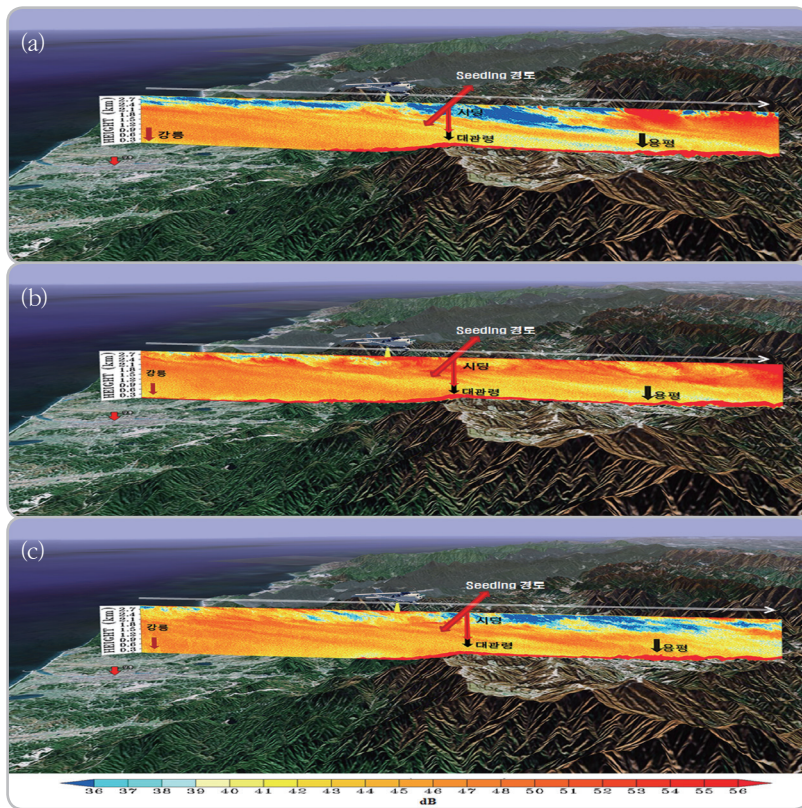
[표 4] Ka 밴드 레이더의 특성

[표 4]는 개발된 소형 Ka 밴드 레이더의 특성을 나타내었으며, [그림 5]는 35 GHz Ka 밴드 레이더의 안테나 배열의 고도각과 실제 모습이다. [그림 6]은 항공기 탑재 Ka 밴드 레이더에 의해 관측된 반사도를 나타내고 있으며, 강원지역에 대한 기상청레이더의 관측공백(광덕산 레이더 최

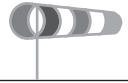
형 태	도파관 슬롯 배열 안테나 × 4개 수직 배열 구조
이 득	31 dBi 이상
3 dB 빔 폭	2° (방위각) 10° (고도각)
부엽역압	방위각/고도각 모두 20 dBc 이상
빔간 간격	16° ~ 24°
고각 수용 범위	60° 이상
1개 안테나 크기	330 × 70 × 8 mm



[그림 5] Ka 밴드 레이더의 (a) 안테나 배열의 고도각과 (b) 하드웨어



[그림 6] 항공기 탑재된 Ka 밴드 레이더 반사도 관측: 2008년 3월 3일  
(a) 1649 ~ 1658 KST, (b) 1734 ~ 1744 KST, (c) 1815 ~ 1824 KST.



### 3. 소형 기상레이더 개발의 기대효과

소형레이더 개발에 대한 기대효과들을 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 대형 기상레이더의 관측 공백지역의 위험기상 감시 기능 강화
- 서해안 섬 지역 등에 설치시 현업레이더 무강수 예코 확인 가능
- 표준화된 레이더를 통한 현업 레이더의 편차보정 및 검보정에 활용
- TRMM, GPM 등 해외 위상의 자료와 상호 공조 연구를 통한 지구 기후 변화 연구의 중요한 장비로 활용
- 지구기상변화에 따른 신기술의 관측장비 개발로 기상 녹색성장산업으로 육성과 KOICA 지원 장비로 이용
- 한반도 관측결과를 바탕으로 GPM 등 해외 연구 협력의 기반 구축
- 인공강우, 미세구름 물리 관측 등 다양한 연구 자료 산출
- 대형 기상레이더 개발을 위한 기반기술 확보

## IV. 기상레이더 개발 및 실용화 절차(안)

기상레이더를 포함한 기상장비 실용화에 대한 절차는 다음처럼 고려될 수 있다.

### 1. 시제품 개발

사용자들의 수요를 모아 시제품을 설계하고 개발하고, 실험실(Lab)에서 시험 및 보완한 시제품을 제작한다.

### 2 연구용 제품 제작

시제품을 실외(Outdoor)에서 시험 보완하여 사용자들에게 성능을 보고하고 경쟁력있는 연구용 제품으로서 문제점을 보완한다.

### 3. 제품의 실용화

연구용 제품을 현업 시험 운영하여 안정적 운영 측면을 보완하여 실용화 시제품을 제작한다.

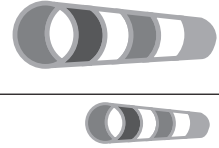
### 4. 제품의 상용화

실용화 시제품을 국내의 수요에 만족하도록 보완하여 상용화 제품을 완성한다.

## V. 기상 레이더 국산화 추진 방안

외국산 대형 기상레이더 수리복구의 지연 문제점 등은 근본적인 치유책이 필요하며 이는 레이더 국내 제작 기술이 확보되면서 해결될 수 있을 것이다. 대형 기상 레이더에 대한 제작 기술의 국내 보유를 위해서는 우선 소형레이더부터 개발을 추진하는 것이 필요하다. 다만, 소형레이더라도 국제경쟁력을 갖는 첨단 제품으로 개발되어야 시장에서 살아남을 수 있을 것이다.

소형 기상레이더의 효율적 개발을 위해서는 사용자 요구를 반영하며 산학연 공동협력으로 추진하는 것이 필요하다. 제품개발뿐 아니라 이를 실제적으로 활용하기 위해서는 검보정과 운영기술 등이 필요하나 이는 단시간에 이루어지기 어렵다. 지속적이고 과감한 투자와 연구개발자들의 열정이 합쳐질 때 소형부터 대형 레이더까지 개발할 수 있을 것이다. 레이더는 장비 개발, 제어 및 활용 소프트웨어 개발, 그리고 운영기술 개발까지 국내자체기술로 가능해 질 때 중단없는 국가재해기상 레이더감시망으로 거듭날 수 있을 것이다.



## 기상라이더의 상용화 현황과 육성 방안

조 성 주

(주)이엔쓰리환경 광기술사업부 이사

sjcho@lidartech.com

### I. 서론

문명이 발전하면서 실내공간에서의 인간 활동이 증가하고 있지만 기상이라는 것은 모든 인간의 삶에 매일같이 깊은 영향을 주는 중요한 요소이기 때문에 이를 이해하고 예측하며 대비하기 위해서는 기상현상을 정확하게, 그리고 광범위하게, 뿐만아니라 지역적으로 세밀하게 관측하는 것은 가장 기본적이고 근본적인 조건이라 할 수 있다. 그러기에 많은 다양한 장비들이 기상인자들을 측정하기 위하여 사용되고 있고, 새로운 장비들이 계속 개발되고 있다. 최근, 기술이 발전하면서 지점 측정의 한계를 극복하여 광범위한 영역의 정보를 얻을 수 있는 원격탐사 분야가 급속하게 발전하고 있다.

기상에서 이용하고 있는 대표적인 원격탐사 장비는

위성과 기상레이더로서 우리나라도 자체적인 기상 위성을 보유하고자 준비하고 있으며, 레이더 분야에서도 국산 장비의 개발은 아직 미진하지만 기상 레이더 관측망이 구축되어 운영되고 있다. 그러나 기상이라는 것이 단순히 강수현상을 측정하고 예측하는 것만이 아니라 이에 영향을 주는 요인들에까지 그 범위를 넓혀가고 있으며, 특히 구름 생성의 응결핵으로 작용하여 지구의 태양복사에너지 평형에 영향을 주어 기후변화와 관련하여 많은 연구대상이 되고 있는 에어러솔 관측이나, 우리나라의 지정학적 위치로 말미암아 봄철에 대량으로 발생하는 황사현상도 이미 기상관측의 영역 안에 포함이 되었다. 뿐만 아니라 성층권 오존층 파괴로 인한 지표 자외선량의 증가와 태양복사에너지로 인한 대기오염물질의 광화학적 반응에 의해 발생하는 지표 오존의 문제는 기상과 환경의 경계를 이미 허물어 가고 있다.



이렇게 새롭게 대두되는 현상들을 측정하기 위해서는 위성이나 레이더와 같은 기존의 원격탐지 방법으로는 한계가 있을 수 밖에 없고, 이와 같은 관측 공백을 보완하기 위해서 레이저를 이용한 원격탐지 방법인 라이더가 적용되기 시작하였다.

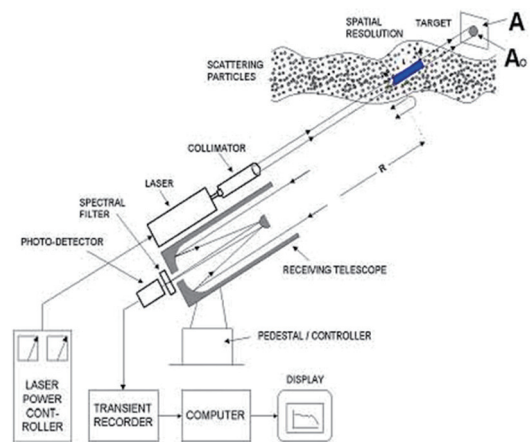
## II. 라이더의 적용

라이더는 다른 장비에 비해 상대적으로 최근에 개발되고 도입되었기 때문에 아직 사용 경험이나 적용 분야가 광범위하지 않은 생소한 장비라고 할 수 있다. 그러므로 라이더를 효과적으로 활용하기 위해서는 먼저, 라이더의 원리, 종류, 국내의 현황 등을 이해하는 것이 필요하다.

### 1. 라이더의 종류

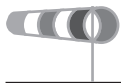
라이더는 레이더에서 파생된 용어로서 전파대신 레이저 빛을 사용하기 때문에 라이더(Light Detection And Ranging; LIDAR)라 명명되었고, 레이저 레이더(Laser Radar)라고도 불리운다. 라이더는 레이저 빔을 대기 중에 조사하면 대기 중에 있는 물질들과 상호작용을 하여 흡수되거나 산란되는데 이런 특성을 이용하여 그 물질들을 탐지하는 장비이다. 탐지하고자 하는 물질의 종류가 다양하듯이 그에 따라 라이더의 종류도 다양하다. 그러나, 빛을 보내고 빛을 신호로 받기 때문에 [그림 1]에서와 같이 기본적인 구성요소는 라이더의 종류에 상관없이 동일하여 송신부, 수신부, 신호처리부로 이루어진다. 송신부는 빛을 대기 중으로 보내는 것으로서, 레이저와 관련된 광학계로 구성되고, 수신부는 빛을 신호로 받기

때문에 망원경으로 후방산란된 빛을 집광하여 광디텍터로 보내줌으로써 광신호를 전기신호로 바꾸어 준다. 신호처리부는 데이터 획득장치를 이용하여 디지털화된 자료를 컴퓨터에서 획득하고, 분석하여 최종적으로 관측자가 원하는 자료를 생산해 주는 장치이다.



[그림 1] 라이더의 기본 구성요소

라이더의 종류는 기준에 따라 여러 가지로 나눌 수 있겠지만 가장 근본적인 분류는 빛이 대기를 진행하면서 산란되는 특성에 의한 것이다. 빛의 산란은 크게 탄성산란(elastic scattering)과 비탄성산란(inelastic scattering)으로 구분되어지는데, 레이저 빔과 산란된 빛의 파장이 변화가 되지 않았으면 탄성산란신호라 하며 레일레이-미 산란(Rayleigh-Mie)과 공명산란(resonance)이 이에 속하고, 파장의 변화가 있는 비탄성산란에는 라만산란(Raman), 형광산란(Fluorescence)이 있고, 도플러(Doppler) 효과로 인해 파장의 변화가 생기는 것도 이 범주에 포함시킬 수 있을 것이다(Measures, 1984).

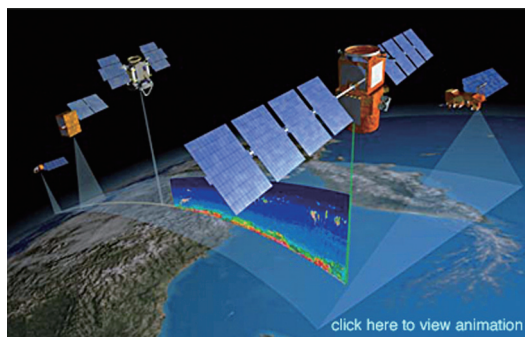


탄성산란신호를 획득하는 라이더로는 마이크로펄스 라이더(MicroPulse Lidar), 황사나 구름을 관측하고 연구하는데 사용하는 이중편광라이더(Dual-Polarization Lidar), 기체의 농도를 측정하는 차등 흡수라이더(Differential Absorption Lidar:DIAL) 등이 있고, 비탄성산란신호를 얻는 라이더는 라만라이더, 형광라이더, 도플러 라이더 등이 있다. 탄성 산란신호는 비탄성 산란신호에 비해 상대적으로 신호의 크기가 크기 때문에 주, 야간 동시에 측정이 가능하여 대부분의 상용화 장비가 이에 속하고, 비탄성 산란신호는 아주 미약한 신호를 다루기 때문에 시스템의 크기가 크고 전문성이 많이 요구되며, 대부분 야간에만 신호를 받을 수 있는 것이 많아 주로 연구용 장비로서 실험실 수준에서 사용된다.

## 2. 라이더 연구현황

라이더는 대기 중에 부유하고 있는 에어러솔과 대기 가스, 오염물질 및 기상인자(온도, 풍향, 풍속, 기압, 수증기량 등)의 3차원 연직분포를 측정하는데, 시공간적 해상도와 범위에 있어 다른 장비와 비교할 수 없을 만큼 탁월하기 때문에 이미 선진국에서는 오래 전부터 연구되고 적용되어 왔다. 미·소 냉전시대에는 미국과 소련을 중심으로 활발하게 연구가 되었으며, 현재는 미국과 러시아, 독일, 프랑스, 영국, 일본 등의 선진국과 중국, 인도 등의 신흥 개발국에서 활발하게 연구가 진행되고 있다. 이는 단순한 대기 관측 뿐만 아니라 국방과도 깊은 관련이 있기 때문에 독자적인 기술확보를 위함이다. 현재 미국 NASA는 [그림 2]와 같이 CALIPSO(Cloud-Aerosol Lidar Infrared Pathfinder Satellite Observation) 위성

CALIPSO(Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization) 라이더를 탑재하여 전 세계의 에어러솔과 구름관측을 수행하고 있다(Winker et al., 2003).



[그림 2] CALIPSO 위성에서의 라이더 관측 개념도  
출처: <http://www-calipso.larc.nasa.gov/>

국내의 라이더 연구는 소련의 붕괴이후 러시아와의 기술협력을 통해 이루어졌다. 초기에 경희대를 중심으로 러시아 라이더 장비들이 도입되어 DIAL시스템과 Mie 산란 라이더가 운영이 되었다. 라이더의 본격적인 연구 개발은 한국 원자력 연구원의 양자광학팀에서 러시아의 성춘권 오존 측정용 라이더를 도입하여 DIAL 시스템을 연구하였고, 러시아 라이더 전문가와의 협력을 통해 마이크로 펄스 라이더, 대기 오염 측정용 라이더가 차량탑재형으로 개발되어 관측을 수행하였으며, 지속적으로 기상지진기술 개발사업의 일환으로 대기의 온도, 수증기 농도를 측정하는 라만 라이더 연구를 하고 있다. 최근에는 한밭대학교에서도 기상라이더 관련 연구를 기상지진기술개발 사업을 통해 수행함으로써 기상 분야에 라이더 기술을 적용하여 기상인자를 관측하는 기술

을 발전시키고 있다. 광주과학기술원에서는 대기오염 모니터링 장비로서 다채널 라만 라이더를 일본에서 들여와 황사연구와 에어러솔 연구에 활용하고 있으며, 서울대학교에서도 마이크로펄스 라이더와 일본 국립환경연구원의 라이더를 도입하여 에어러솔이 기상에 미치는 영향을 연구하고 있다. 그 외에도 국립환경과학원에서도 라이더를 도입하여 황사관측에 활용하고 있으며, 기상청은 효과적인 황사관측 및 예보를 위해 황사측정용 라이더를 설치하여 운영하고 있고, 또한 에어러솔과 성층권 오존농도의 변화를 모니터링하기 위해 마이크로펄스 라이더와 오존라이더를 사용하고 있다([표 1] 참고).

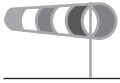
최근에는 극지연구소에서 극지의 대기 연구를 위해 쇠빙선에 탑재하는 이중편광라이더(Dual Polarization Lidar; DPL)를 도입하여 운영 중에 있으

며, 서울특별시 보건환경연구원에서도 대기 연구용 다파장 편광라이더(Multi-wavelength Polarization Lidar for Atmospheric Research; MPoLAR)를 도입하여 황사 및 에어러솔을 연속적으로 모니터링하고 있다. 이와 같이 국내의 라이더 연구는 한국 원자력 연구원과 한밭대학교와 같이 라이더 개발을 연구하는 그룹과 라이더를 활용하여 대기 연구를 하는 그룹으로 나뉘어 진다.

국내의 라이더 연구는 외국에 비해 상대적으로 늦게 시작되었지만, 라이더의 상용화 분야는 활발하게 진행이 되었다. 라이더는 시스템이 정교하고 고도의 기술력이 필요하기 때문에 전세계적으로 상용화된 라이더를 판매하는 회사는 극히 소수에 불과하다. 라이더를 상용화한 회사로는 마이크로펄스 라이더를 생산하는 미국의 SES Inc.사, 대기오염 측정용

[표 1] 현재 국내에서 라이더를 운영 중인 기관

설치장소	운영기관	종류	제조국
서울	SIHE	다파장	대한민국
쇄빙연구선	극지연구소	편광	대한민국
백령도	기상청	편광	대한민국
문산	기상청	편광	대한민국
군산	기상청	편광	대한민국
안면도	기상청	MPL, DIAL	미국,대한민국
서울	서울대	MPL,다파장	미국, 일본
	국립환경과학원	MPSL, Raman	대한민국, 독일
	화생방방호사령부	MPSL	대한민국
수원	경희대	다파장	일본
대전	원자력연구소	Raman, DIAL	자체개발
광주	광주과기원	다채널 Raman	일본



DIAL 시스템을 판매하는 독일 Elight 사, 그외에 프랑스의 CIMEL과 Leosphere, 그리스의 Raymetrics, 일본 Sibata, 도플러라이더를 상용화하고 있는 영국의 HALO, 캐나다의 Optech 등이 있다. 이중에는 상용화 되었다고 하더라도 일부는 전문가가 아니면 사용하기 힘든, 실험실적인 장비로서 주문에 따라 제작되는 장비도 있다.

### III. 국내의 상용 라이더의 종류 및 특징

#### 1. 상용화 장비의 요구조건

라이더 장비는 일반적인 범용 장비와는 다르게 특수 목적으로 소수의 사람들에 의해 사용되기 때문에 상용화 장비를 제작함에 있어서 특별히 고려해야 할 사항이 여러 가지가 있다. 성능이나 가격 등의 요소는 일반적인 장비와 동일하기 때문에 그 외의 특수한 요소 만을 살펴보기로 한다. 첫째 요소는 ‘누가 사용하는가?’이고, 둘째는 ‘어떻게 운영될 것인가?’이다.

##### 1) 장비 사용의 용이성

라이더는 일반적으로 10 km 이상에서 오는 미약한 광신호를 획득하기 때문에 사용되는 모든 구성품들이 아주 정교하고 민감하여, 레이저와 대기광학적 지식이 있는 전문가가 아니면 사용하기 어려운 장비로 인식되어 있는 경우가 많다. 그러므로, 턴키(turn-key) 작동이 가능해야 한다. 연구용 장비는 레이저와 같은 모든 구성품들을 거의 개별적으로 제

어해 주어야 하기 때문에 아주 복잡하지만, 상용장비는 키를 돌리고 버튼을 누르는 것만으로 장비가 운영이 되어야 한다.

##### 2) 기계적, 광학적 안정성

라이더는 기상 레이더에 비해서 사용하는 전자기파의 파장이 1/100,000 이하이기 때문에 그만큼 정교한 기술이 요구된다. 특히, 대기로 발사된 레이저 빔이 망원경의 시야각(Field of view)으로 들어오게 하기 위해 정교한 조정을 하는 데, 이는 진동과 기온의 변화, 레이저의 안정성 등 여러 요인이 복합되어 발생하기 때문에 이와 같은 조정을 하지 않아도 되도록 설계해야 한다. 이를 위해서는 기계적으로 정밀 가공을 해야 하고, 진동을 차단할 수 있는 장치가 마련되어 있어야 하며 사용하는 구성품이 기계적으로, 광학적으로 안정된 것이어야 한다.

##### 3) 연속관측 능력

연구용 장비는 연구 목적에 부합되는 특별한 대기 현상을 관측하고 분석하면 되기 때문에 일반적으로 연속관측을 할 필요가 없다. 그러나 상용화 장비는 모든 작동이 자동화되어 24시간 365일 연속적으로 모니터링하는 목적으로 사용될 때가 많으므로 기상 상태나 기온변화에 상관없이 관측이 가능하도록 관측환경을 구축해야 한다. 특히, 우리나라에 황사가 발생할 때에는 저기압 후면에 강한 바람을 타고 유입되기 때문에 비가 올 때도 관측을 하고 있지 않으면 황사의 유입과정을 관측하지 못하고 이미 유입된 후에야 관측하는 경우가 빈번히 발생한다. 그렇기 때문에 상용화 장비를 운영할 때는 우천시에도 관측



할 수 있도록 관측창을 만들어 상시 관측을 할 수 있어야 한다. 관측창을 통한 관측시 레이저의 출력이 강하면, 레이저에 의하여 관측창의 유리가 손상될 수 있기 때문에 레이저 빔의 단위면적당 출력을 낮추어 줄 수 있도록 빔익스판더(Beam expander)의 배율을 적절히 선택해야 한다. 관측창의 표면에 레이저 빔이 반사되기 때문에, 반사된 빛이 망원경을 통해 광디텍터로 직접적인 전달이 되지 않도록 광경로를 차폐시켜야 하고, 또한, 관측창이 무반사코팅(Anti-reflection coating)이 되어 있어야 반사되는 빛의 양이 적어지고, 관측창에서 발생하는 신호의 감쇄를 최소화 할 수 있다.

#### 4) 라이다 프로그램

레이저는 사용하는 시간에 비례해서 소모품을 교체해 주어야 한다. 특히, 고출력 레이저는 플래쉬램프(flashlamp)로 펌핑을 하여 레이저 빔을 만드는데, 일반적으로 플래쉬램프의 수명이 약 30,000,000번 켜지는 것을 기준으로 하기 때문에, 연속관측을 한다면 플래쉬램프를 자주 교체해 주어야 하는 비용과 번거로움이 발생 한다. 그러므로 관측을 할 때, 관측시간과 관측 주기를 설정할 수 있어서 관측시간을 짧게 하고 관측주기를 조절할 수 있도록 라이다 프로그램이 되어 있어야 효율적인 운영을 할 수 있다. 관측방법과 더불어 관측된 자료도 실시간으로 표출되어야만 비전문가라 할지라도 모니터링하는 목적을 만족시킬 수 있다.

## 2. 국내 상용화 라이다

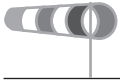
국내에서 상용화된 라이다의 종류는 레일레이-미(Rayleigh-Mie) 산란 라이다인 마이크로펄스 스캐닝 라이다와 이중편광라이다, 그리고 다과장 편광라이다와 DIAL시스템인 성층권 오존라이다가 있으며, 그 운영기관은 기상청, 극지연구소, 서울특별시 보건환경연구원, 국립환경과학원, 국군 화생방방호사령부가 있고, 설치 위치는 [그림 3]과 같다.

### 1) 마이크로펄스 스캐닝 라이다(MicroPulse Scanning Lidar; MPLS)

마이크로펄스 라이다는 NASA에서 에어러솔의 연속관측을 위해서 개발된 장비로서 눈보호(eye-safe) 성능을 만족시키고 사용시간을 증가시키기 위해 최초로 저출력 고반복률로 작동하는 다이오드



[그림 3] 국내 상용 라이다 설치장소



펌핑된 고체 레이저(Diode-pumped Solid State Laser:DPSSL)를 사용하였다. 레이저 펄스 에너지가 수 마이크로 주울( $\mu$ J)이기 때문에 광자계수용(photon-counting) 검출기를 사용해야 하고, 배경 신호를 줄이기 위해 망원경의 시야각을 100 urad으로 줄였을 뿐만 아니라 광정렬이 필요없는, 경량화되고 소형화된 획기적인 시스템이었다(Campbell et al., 2002). 한국에서는 원자력연구소에서 스캔 시스템을 추가하여 공장 굴뚝에서의 오염물질 배출 및 확산을 관측하는 목적으로 개발되어 (주)이엔쓰리 환경(구 라이다텍)에서 상용화 되었다.

[그림 4]와 [표 2]는 국군 화생방 방호사령부에서 운영중인 마이크로펄스 스캐닝 라이더(MPSL)의 모습과 그 사양이다. NASA에서 개발된 MPL은 레이저의 빔이 망원경의 시야각으로 완전히 들어오는 중첩거리가 1.4 km 이상이 되어 상층 대기를 관측하는 데는 적합하지만, 환경분야에서 중요한 요소인 1 km 이내의 대기 경계층에서 일어나는 현상을 측정하기에는 적합하지 않다. 그렇기 때문에 MPSL에서는 환경분야에서도 사용할 수 있도록 중첩거리를 300m 내외로 줄이기 위해서 초점거리가 1,000 mm인 망원경을 사용하고, 망원경의 중앙에서 레이저 빔이



External view of MPSL  
 a. Mobile system  
 b. Lidar  
 c. Control box & computer  
 d. Display of measurement

[그림 4] 마이크로펄스 스캐닝 라이더  
 a)차량탑재형 시스템, b) 라이더,  
 c)컨트롤박스, d)컴퓨터 디스플레이.

[표 2] 마이크로펄스 스캐닝 라이더 사양

Model name	MPL1001P
Laser	DPSS Nd:YAG
Wavelength (nm)	532
Pulse energy ( $\mu$ J)	> 3
Pulse duration (ns)	< 2
Repetition rate	5 KHz
Telescope	Cassegrain
Diameter (mm)	100 (for near-field)
Focus length (mm)	1000
FOV (urad)	100
Detector	APD
Filter bandwidth(nm)	0.15
DAQ(Photon counter)	PC compatible board
Data transfer	PCI or ISA
Resolution	> 4.5 m (adjustable)
Data average time	Adjustable
Software	Graph user interface
	Real time processing
	Scheduler

조사되는 공동축(coaxial system) 시스템으로 설계되었다. 또한, 스캔기능을 추가하기 위하여 라이다 헤드를 초소형화하여 소형 군용 트럭에 탑재하여 사용하는 차량탑재형으로 제작되었다.

[그림 5]는 MPSSL로 포항에서 수평관측을 한 지리적 범위를 보여 주는데, 초록색 원의 중심에 라이다가 위치하고 북서쪽 방향에 위치한 포항제철 부근을 반경 10 km 까지 스캔하였다. [그림 6]은 관측결과를 분석하여 표출한 것으로서 공단지역에서 발생한 분진들이 해륙풍의 영향으로 이동하는 모습을 특징적으로 보여 준다. 이와 같이 에어러솔의 확산과 이동을 효과적으로 모니터링할 수 있기 때문에 국립환경과학원에서는 황사와 같은 현상 뿐만 아니라 환경분야의 연구를 위해 사용하고 있다.

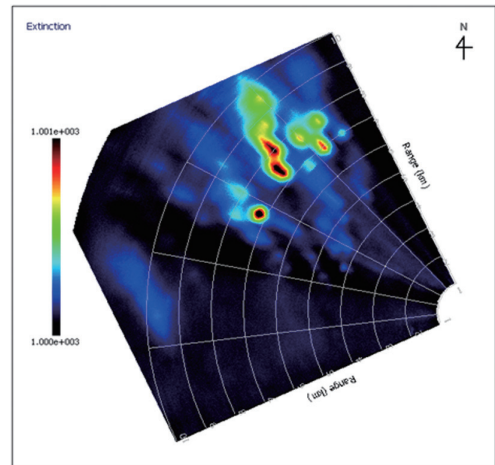
## 2) 이중편광라이다와 다파장 편광라이다

국민 건강과 산업에 심각한 영향을 주는 장거리 이동 물질인 황사를 모니터링하기 위해서 기상청은 이중편광라이다(Dual Polarization Lidar)를 도입하여 사용하고 있으며, 서울특별시 보건환경연구원에서는 다파장 편광라이다(Multi-wavelength Polarization Lidar;MPoLAR)를 운영하고 있다. 편광라이다는 레이저에서 보낸 편광과 그와 수직인 편광신호를 획득하여 변화된 비를 측정함으로써 산란시키는 입자들의 형상을 알아낸다(Sassen, 1991). 황사의 경우는, 형상이 구형이기 보다 불규칙한 모양을 띄고 있기 때문에 비편광도(Depolarization ratio)가 평소보다 큰 값을 보여준다. 극지연구소에서도 편광라이다를 2009년에 완공되는 쇄빙선에 탑재하여 위도별 대기의 연직분포와 에어러솔의 특징을 연구하고자 한다.



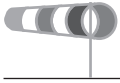
Map of Pohang city

[그림 5] MPSSL 포항 관측사례



Plane view of Aerosol monitoring  
: Aerosols are transported by sea wind from heavy industrial area to city

[그림 6] 포항 관측자료 분석

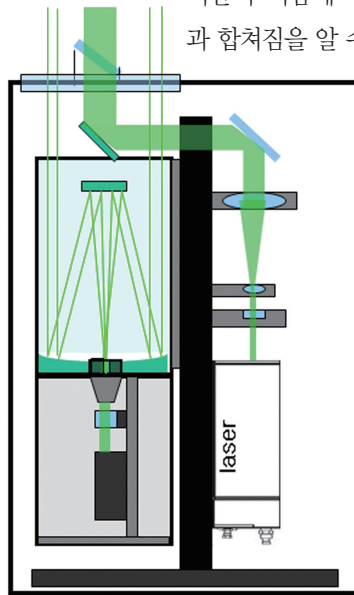


또한, 입자에서 산란되는 빛의 양은 파장에 따라 서로 달라지게 된다. 즉, 입자의 크기분포가 달라지면 파장이 다른 두 빛의 산란신호 비(color ratio)가 달라지기 때문에 CALIPSO 위성에서는 이를 측정하여 구름과 에어러솔을 구분하는 알고리즘을 개발하여 사용하고 있다(Winker et al., 2003). 서울특별시 보건환경연구원에서는 후방산란신호, 532 nm에서의 비편광도(depolarization ratio), 1064 nm와 532 nm의 파장에 따른 산란신호비(color ratio)가 측정되는 다파장 편광 라이더를 사용하여 서울시의 대기질을 연속 모니터링하고 있다.

[그림 7]은 다파장 편광라이더의 모습으로, 작동키를 돌리고 스위치만 누르면 동작하는 시스템이다. 동작이 자동화 되어 있을 뿐만 아니라 관측결과를 그림과 원시자료의 형태로 자동전송하는 기능이 있



[그림 7] 다파장 편광라이더



[그림 8] MPoLAR 기본 구성도

어 무인화된(unattended) 장비로서도 사용이 가능하다. [그림 8]은 시스템의 기계적, 광학적 안정성을 극대화하기 위해 송, 수신부를 일체화한 기본 구성도를 보여주고 있으며, [표 3]은 MPoLAR의 세부 사양이다.

[그림 9]는 MPoLAR로 관측한 결과 중 거리보정된 후방산란신호(좌)와 비편광도(우)를 보여주는 그림으로 표시된 영역 I를 보면 후방산란신호세기는 다른 부분에 비해 아주 강하지만 비편광도의 값은 아주 낮아서 구름의 내부가 수직 형태의 구형인 물방울로 되어 있음을 알 수 있다. 그 위에 있는 구름들은 영역 I와 같이 짙은 것은 아니지만 비편광도의 값이 큰 것으로 보아 구름 내부가 빙정(ice crystal) 형태로 존재함을 보여준다. 영역 II는 후방산란신호를 보았을 때, 지상의 에어러솔 층 위에 다른 층이 있고 시간이 지남에 따라 점차 낮아져서 지상의 층과 합쳐짐을 알 수 있으며, 비편광도에서는 지상의 층은 비편광도의 값이 아주 낮지만 그 위 층은 상대적으로 높은 것을 보여준다. 따라서 지상과는 다른 종류의 에어러솔이 2 km 부근의 상공에서 점차 지표로 하강하고 있는 모습을 잘 보여준다. 영역 III은 1 km 상공에서 지표에는 영향을 주지 않지만 지표와는 다른 에어러솔이 이동한다는 것을 알 수 있다. 이렇게 에어러솔의 이동 및 변화, 그리고 구름 물



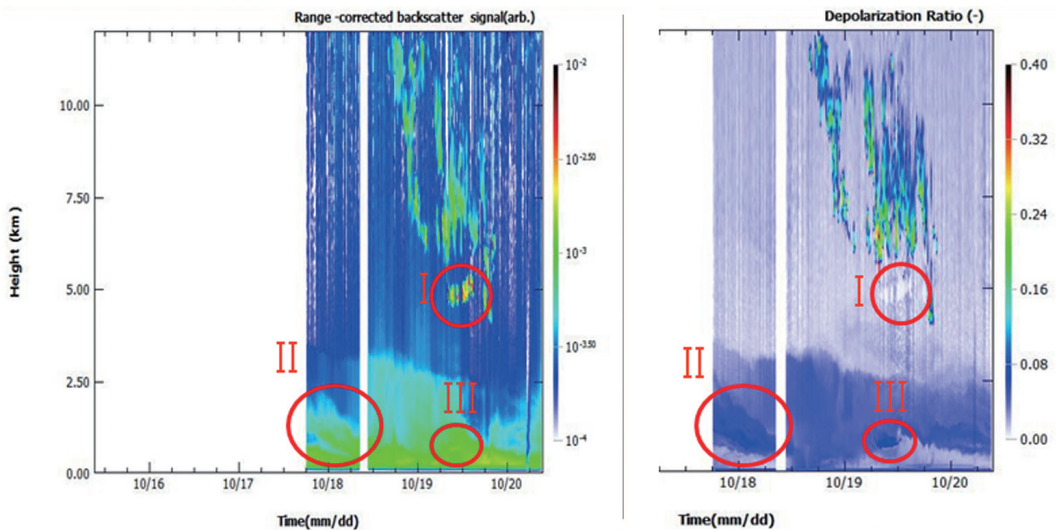
[표 3] MPoLAR의 사양

Model name	MPoLAR
Laser	Q-Switched Nd:YAG
Polarization	Linear polarized
Wavelength (nm)	1064, 532
Pulse energy (mJ)	200
Pulse Repetition	20
Telescope	Cassegrain type
Diameter (mm)	200
Focus length (mm)	2000
FOV (mrad)	< 1.5
Detector	PMT, APD
Filter(nm)	1.0
DAQ(Digitizer)	PC compatible board
Data transfer	PCI
Resolution	> 2.5 m (adjustable)
Data average time	Adjustable
Software	Hardware control
	Data processing program

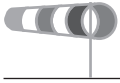
리 연구에 다파장 편광라이더가 효과적으로 사용될 수 있는 장비이다.

### 3) 성층권오존 측정용 라이더(StratZon; Stratospheric oZon lidar)

성층권의 오존 측정을 위해서는 오존이 잘 흡수하는 파장의 빛과 흡수하지 않는 파장의 빛을 동시에 보내어 서로간의 차등흡수를 측정하는 라이더(DIAL)을 사용해야 한다. 기상청의 기후변화감시센터에 설치된 라이더는 308 nm의 파장에서 발진되는 XeCl 엑시머 레이저에서 300 mJ의 펄스에너지를 가진 빔이 나와 353 nm의 파장으로 변환시켜주는 라만쉬프터(Raman Shifter)를 통과하여, 오존에 의해 잘 흡수되는 308 nm와 잘 흡수되지 않는 353 nm의 빛을 성층권에 보내 오존 농도를 측정하고 있다. [그림 10]은 엑시머 레이저와 직경 700 mm의 대



[그림 9] MPoLAR의 연속관측 사례(거리보정된 후방산란신호와 비편광도)



형 망원경, 그리고 라이더 제어 및 분석용 컴퓨터를 보여주고 있다. [그림 11]은 지상에서 40 km 높이까지의 오존 수농도(number density)를 측정한 프로파일로서 계절에 따라 변화하기는 하지만 약 21 km 부근에서 오존의 농도가 최고치임을 보여주고 있다. StraZon은 레이저와 수신 망원경이 약 6m 가량 떨어져 있어서 대류권에서 오는 강한 신호를 기계적인 초퍼(chopper)를 사용하지 않고도 차단하는 이중축(Bi-axial) 형태로 장기관측용에 적합한 시스템이다(McDermid et al., 1990).

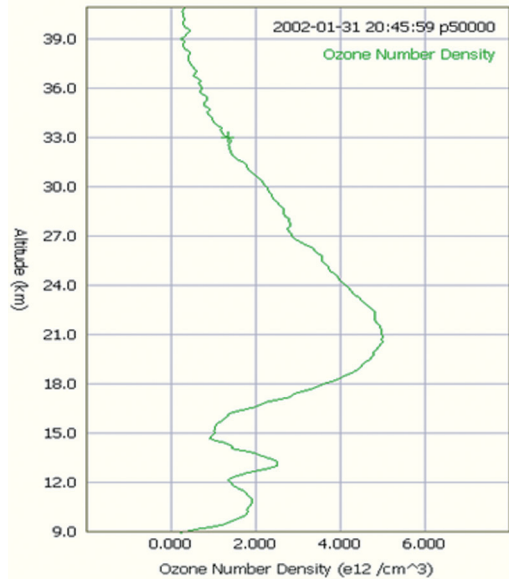
#### IV. 라이더의 국산화에 대한 제언

라이더 장비를 국산화하면서 발생했던 어려움은 첫째로 라이더가 많이 보급되지 않았기 때문에 장비

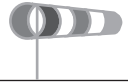
에 대한 이해 부족에서 기인하는 것이 많다. 장비의 외적인 규모가 기상 레이더에 비해 적다보니 같은 원격탐지 장비임에도 불구하고 기술적인 수준을 낮게 보는 경향이 있다. 실제로 사용되는 대부분의 구성품은 국내에서 생산이 되지 않는 최첨단 장비이기 때문에, 가격과 기술적 운영에 더 주의를 기울여야 함에도 그렇지 못한 경우가 발생한다. 또한, 최첨단 기술이고 특수한 장비이기 때문에 외국 라이더와 비교하여 국산 장비의 수준을 폄하하기가 쉽다는 것이다. 라이더는 원격탐지 장비이기 때문에 원하는 최종결과를 얻기 위해서는 자료를 처리하고 분석하는 상당히 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 그 과정에서 대기 광학적인 지식이 요구되어 어려움이 있기도 하지만, 외국 장비는 검증이 필요없는 정확한 최종적인 결과를 자동으로 산출해 주는 것으로 오해를 하기도 한다. 국내에서 라이더 개발이 기술선진



[그림 10] 성층권 오존라이더



[그림 11] 성층권 오존농도



국에 비해 늦었기 때문에 연구가 덜 되어 있는 라이더 종류도 있지만 국내의 기 상용화된 제품들은 외국의 상용 장비에 비교해도 상당한 기술적인 수준을 유지하고 있다.

둘째로는 라이더 관련 전문가가 부족하다는 것이다. 새로운 장비를 개발하기 위해서는 그에 대한 이론적인 배경과 설계 및 제작, 그리고 제작된 장비를 연구에 활용하여 지속적인 연구결과가 학술지에 발표가 되는 일련의 협력이 지속되어야 국제적으로도 신뢰성을 확보하고 홍보도 되어 시장을 개척해 나갈 수 있을 것이다. 이런 과정은 산학연이 지속적인 협력이 밑바탕이 되어야 하지만, 국내의 경우는 연구 인프라가 넓지 못해 협력체계를 구축하기가 쉽지 않다. 기업의 연구개발 역량만을 가지고는 해결하기 힘든 문제이다.

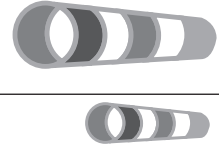
레이저 원격탐지 기술인 라이더는 국가적 차원에서 중요한 분야이다. 그러므로 장기적인 안목을 가지고 방향과 목표를 정해서 대학과 연구소, 산업체가 지속적인 협력을 할 수 있도록 정부적 차원의 지원이 필요하다. 기후변화와 환경문제는 점점 큰 이슈가 되어가지만, 이를 연구하기 위해 필요한 장비들은 전적으로 외국에 의존하기만 한다면 앞으로 기술선진국으로서 발전하기가 쉽지 않을 것이다. 그러므로 전문가가 지속적으로 배출될 수 있도록 대학과 연구소의 연구개발 지원이 확대되어야 하며, 배출된 전문가의 역량이 효과적으로 활용될 수 있도록 독립적인 전담 조직이 운영되어야만 국제적으로 인정받는 기술력을 갖출 수 있는 터전이 마련될 것이고, 그래야만 세계 시장을 주도할 수 있는 민간 사업자도 육

성이 될 것이다. 그러므로 정부에서는 라이더 분야가 연구개발로만 끝나지 않고, 제품이 상용화 되어 국가위상 및 경제 발전의 제고를 위해 연구개발 단계부터 상용화 단계까지의 장기적이고 지속적인 지원과 함께 이를 위한 시스템을 확충해야 할 것이다. 외국의 상용 라이더 업체 중에는 국내 제품을 벤치마킹하여 제품 개발을 한 사례도 있다. 이들은 연구기관에서 학술적이고 기술적인 지원을 지속적으로 받고 있으며, 기본적인 시장규모도 EU 전체이기 때문에 시장수요도 우리보다 훨씬 많을 뿐만 아니라, 유럽의 기존 기상 및 환경 장비회사와의 제휴를 통해 세계시장으로의 진출을 적극적으로 하고 있다.

국내의 경우는 여건이 상대적으로 열악한 상황이지만, 정부의 적극적 지원, 산학연의 유기적인 협력과 해외 진출을 위한 마케팅 제휴를 강화한다면 국내 라이더 제품을 세계시장으로 확대하는 것이 빠른 시일 내에 가능할 것이라 생각된다.

## 참고문헌

- Campbell et al., 2002: Full-time, eye-safe cloud and aerosol Lidar observation at atmospheric Radiation measurement program sites: Instruments and data processing, *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 19, 431-442.
- Measures, 1984: *Laser Remote Sensing: Fundamentals and Application*, Wiley, 510 pp.
- McDermid et al., 1990: Ground-based laser DIAL system for long-term measurements of stratospheric ozone, *Appl. Opt.*, 29(25), 3603-3612.
- Sassen, 1991: The polarization lidar technique for cloud research: A review and current assessment, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 72, 1848-1866.
- Winker et al., 2003: The CALIPSO mission: Spaceborne lidar for observation of aerosols and clouds, *Proc. SPIE*, 4893, 1-11.



## 기상장비의 시장성 확보 전략 및 방향

이 부 용

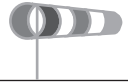
대구가톨릭대학교 환경과학과 교수

bylee@cu.ac.kr

### I. 서 론

지구의 탄생과 더불어 지구에서의 자연현상은 끊임 없이 변화를 거듭하면서 일어나고 있다. 50억년이라는 긴 시간 속에서 지속되게 나타나고 있는 것 중에는 대기현상을 빼 놓을 수 없다. 대기 현상은 유일하게 풍부한 물이 있는 바다를 가진 지구에서만 복잡한 과정으로 나타내고 있다. 이러한 대기 현상의 과정을 인간의 주관적인 관점에서만 파악을 할 경우에는 객관적인 부분이 사라지게 된다. 과학과 현상의 관측에서는 객관성이 무엇보다도 우선하는 것이 사실이다. 이러한 객관성의 확보의 시작이 바로 측우기라고 생각을 할 수가 있다. 측우기 발명 이전에는 땅속에 스며든 물의 깊이로 측정한 기록이 남아 있다. 그러나 이러한 것은 토양의 성질, 토양의 건조 정도에 의존하게 되므로 객관적이지 못한다. 이

러한 관점에 1441년 5월 28일 문종이 세계 최초로 측우기를 발명한 것은 매우 의미 있는 것이다. 그리고 이때 제작된 측우기는 지금의 우설량계와 비교해서 크기와 외곽 부분의 형태에 차이가 있을 뿐 근본적인 모양이나 측정의 원리는 같다. 이것은 그때 발명된 측우기가 얼마나 우수하게 잘 고안되었는가를 가늠할 수 있는 하나의 척도로 생각할 수 있다. 과거 우리 조상들이 만든 기상관측기기를 현대에 이르기까지 그 원형의 변화 없이 관측을 하고 있다는 것은 우리들의 자량이 아닐 수가 없다. 그러나 이러한 과거 우리 조상들의 훌륭한 발명에도 불구하고 현재 우리가 가지고 있는 기상장비에 대한 현실은 너무나도 초라하다. 현재 우리나라에서 생산하고 있는 기상장비에 대한 제품은 전도형 우량계, 풍속계, 백금저항 온도계 그리고 일부의 국산화를 이룩한 고층장비, 항공관측장비, 부이가 대부분으



로 많은 관측 장비가 국산화를 하지 못하거나, 아예 국내에서 생산조차 하지 않고 있다. 이것은 팜프렛이나 자료에서 “세종대왕때 문종이 만든 측우기로 세계 최초 객관적인 관측을 수행한 나라이다” 라는 설명과 지금의 우리 현실은 너무나도 동떨어져 있다. 다시 말해 과거에 그러한 것이 있었다고 말할 뿐 현재 우리가 어떠한 상태이며, 앞으로 어떻게 발전할 것인가에 대해 아무도 관심을 기울이지 않은 결과로 생각을 할 수가 있다. 이러한 무관심은 최근 날로 확대되고 있는 기상장비 시장분야의 국제적 진출에 커다란 장애의 요소로 작용하고 있다. 다시 말해 해외 시장에 진출할 고유의 국산화 장비가 없다는 것이다. 과거 1987~1989년 3년간 있었던 기상계측장비의 효율적 운영 및 국산화개발연구 I, II, III (연구기관: 기상청 기상연구소)의 3년에 걸친 연구를 제외하면 그 이후에서 현재까지 20년 가까운 기간 동안 기상장비에 대한 연구와 연구 지원은 거의 전무한 상태이다(다만 2006년부터 기상지진사업에서 극히 일부가 수행되고 있음). 결국 부족했던 연구지원은 연구 및 개발에 있어 필수적인 전문 인력을 양성하지 못하였을 뿐만 아니라, 국내에서 사용되고 있는 거의 모든 센서가 수입 외제로 채워지게 하였다. 가장 안타까운 사실은 측우기를 발명한 나라에서 독일제 우량계(OTT 사 제품)를 수입하여 관측 연구에 활용하고 있다는 것이다. “만약 우리나라에서 이 보다 더 좋은 성능의 국산 장비가 있었다면 어떻게 되었을까?” 라는 물음에 대한 해결 방안으로 우리는 어떻게 하면 한국 고유의 기상장비를 외국 기상관측 노장에서 볼 수 있을까 라는 것에 대해서 생각해 보고자 한다.

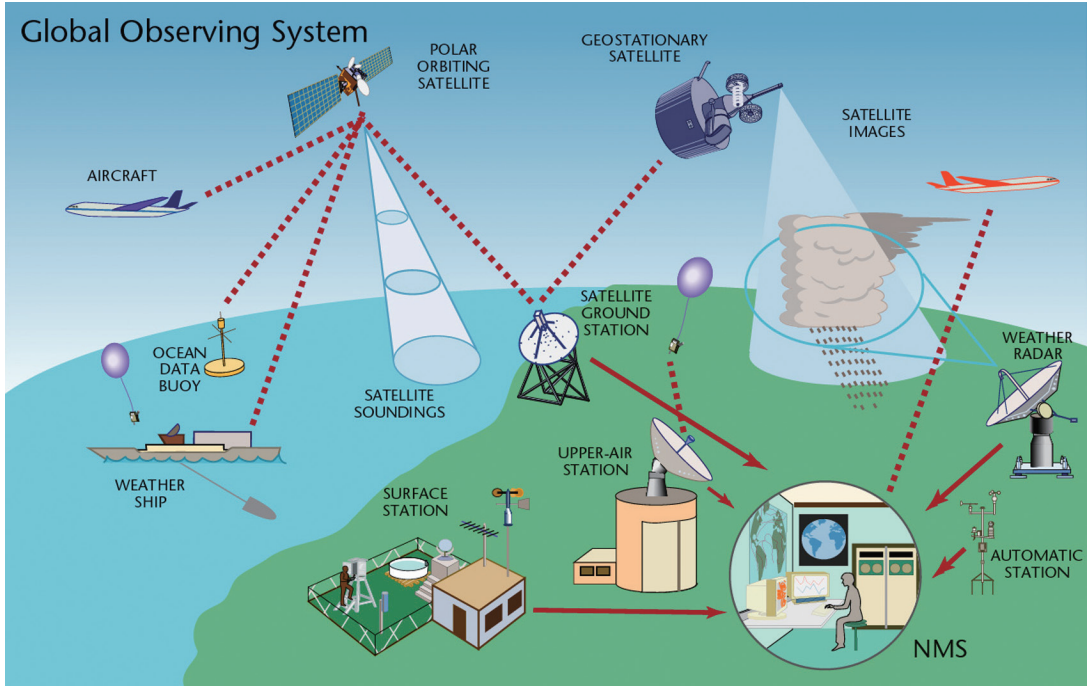
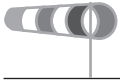
## II. 본문

### 1. 기상관측 규모

아래의 [그림 1]은 기상청 중앙 현관에 설치된 측우기와 그 관측 장면을 모식적으로 나타낸 그림을 찍은 사진이다. 이것은 과거 기상현상 관측에 대한 것에서 현재 이루어지고 있는 것을 나타낸 것은 [그림 2]이다.



[그림 1] 기상청 측우기 관측 사진



[그림 2] 지구 관측 시스템 모식도

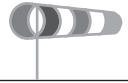
[그림 1]의 시대에서는 기상관측 장비의 시장성이라는 의미는 거의 없었을 것이다. 그러나 [그림 2]의 시대에서는 다르게 해석될 것이다. 경제성이 충분히 있는 시대로 진입하였다.

[그림 2]에 나타난 바와 같이 인공위성, 레이더, 부이 관측선, 지상관측장비, 수치 모델과 컴퓨터 등이 있으며, [표 1]에는 지구관측시스템에 구성된 각 관측소 현황에 대한 정보이다. 이 현황에서 보면 지표면 관측소가 11,000 개소 이상이 운영되고 있음을 알 수 있고, 이 외에도 각 국가에서 운영하고 있거나, 연구 목적으로 활용되고 있는 관측소를 감안한다면, 훨씬 더 많은 장비가 관측에 활용되고 있음을 알 수

있으며, 그 장비의 수는 갈수록 늘어나고 있는 추세여서 앞으로의 시장은 확대 될 것임에는 틀림이 없다고 확신 할 수 있다.

[표 1] 지구 관측 시스템 구성 요소

구 성	숫 자
지표면 관측	11,000 개소 이상
고층 기상관측	900 개소 이상
해양 관측	선박 : 7,000 척 부이: 900 개
항공기 관측	3,000 이상
위성 관측	극 궤도: 5개 정지위성: 6개
기타 관측 플랫폼	번개관측, 해수면관측, 도플러 레이더



## 2. 장비의 개발과 진입 방향

### 1) 국산화

본 글의 앞부분에서 소개된 바와 같이 현재 국산 고유의 장비는 거의 없는 상태도 현재 우리가 가지고 있는 가장 큰 단점이며, 문제점이다. 이 부분에 대한 해결은 쉽지 않으며 그 접근에 있어서 시간과 노력 뿐 만 아니라 경제적인 것 까지도 고려해야만 한다. 그렇지만 이 부분 없이는 장비의 시장 확보 방안이나 전략은 무의미 할 것이다.

장비의 국산화에 있어 미래 시장에 대비하기 위해서는 기초적인 장비의 개발이 필수적이다. 기본적인 장비로는 우량계, 풍향풍속계, 온습도계, 일조계 등과 자동기상관측 장비의 가장 중심적인 부분인 데이터 로저가 있다. 이러한 기본적인 장비의 접근은 그 단가가 그렇게 비싸지 않아 새로운 소비자의 접근이 비교적 용이한 점이 있기 때문이다. 레이더와 같은 고가의 장비의 경우 장비에 대한 충분한 연구가 수행되었을 때 소비자는 장비에 대해서 신뢰를 갖게 될 것이다. 이러한 것은 지상관측장비의 개발과 함께 수행되어야 그 효과가 극대화 될 수 있는 작업으로 사료된다. 그 외의 인공위성과 다양한 리모트 센싱 장비에 대해서는 이 분야의 전문가가 참여하여야 할 것으로 판단된다.

### 2) 정부, 연구소, 회사, 학교, 개발자의 협력

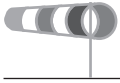
모든 장비의 개발에는 소요자금이 필요하다. 또한 소요자금 못지않게 필요한 것이 바로 시간이다. 기상 장비는 단시간에 장비의 형태는 개발이 가능하

나, 야외 관측에서는 그 장비에 대한 성능은 보증할 수 없다. 따라서 장비의 제작 때부터 정확한 제작이 필요하다. 이를 위해서는 전문 회사의 참여가 꼭 필요하다. 다음으로 제작된 장비에 대한 시험과 그에 대한 학문적인 접근이 있어야 한다. 학문적인 접근 없이 개발된 장비의 경우 그 측정값에 대한 신뢰성을 요구할 때 더 이상의 객관적인 자료를 제시할 수 없는 상태가 될 수 있기 때문이다.

따라서 장비의 개발에 있어 필요한 자금 지원을 하는 정부의 역할, 그리고, 그 자금으로 기기를 개발을 할 수 있는 인력, 개발된 장비를 제작할 수 있는 회사, 다음으로 그 장비로 연구를 하여 신뢰성 검증을 위한 학술적인 논문을 생산하는 역할자로 연구소, 대학이 필요하다. 따라서 이 모든 것이 각각이 아닌 하나의 유기체적인 관계로서 움직일 때 국산화 장비의 개발은 실질적으로 가능하게 되리라 생각된다.

### 3) 장비의 마케팅

아무리 좋은 장비가 개발되어도 외국에 알려지지 않으면 내수용 장비로 전략하게 된다. 현재 국내 시장 규모는 국제 시장 규모에 비해서 상대적으로 그 규모가 작다. 따라서 장비의 해외 진출은 장비 산업 발전에 있어 개발과 함께 아주 중요한 부분을 차지한다. 이러한 접근은 먼저 학술적인 접근이 가장 우선시 되어야 하며, 다음으로는 WMO를 통하여 장비가 소개될 수 있게 장비들을 WMO 주관의 야외 비교 관측에 참여하게 하는 것이다. 이것은 새로운 장비를 세계 시장에 소개하기 위한 가장 적합한 경로로 사료된다. 한 예로 강우에 대해서 2007년 10



월 1일 이탈리아에서 비교 관측이 12개월 동안 실시되었다. 이때 26개의 우량계 모델이 참여하였는데, 12대의 전도형 우량계, 7대의 중량식 우량계, 3대의 광학식, 음파 우량계 1대, 압력식 우량계 1대, 수위식 우량계 1대, 단파 도플러 레이다 1대 였다. (CIMO Newsletter Feb. 2008 <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/newsletters.html>)

이러한 WMO의 국제 활동에 적극 참여하여 각 나라의 장비에 대한 정보, 현황 그리고 장비의 소개 등의 지속적인 사업을 할 필요가 있다. 또한 국제 장비 전시회 참여 또한 빼 놓을 수 없는 좋은 기회이다.

#### 4) 예보 기술에 적용

지상 장비에 대해서 원격 관측 장비인 레이다나 위성 기술 진보는 매우 빨라 지상관측 장비의 자료가 실시간으로 지원을 하지 못하는 경우가 있다. 우량의 경우 레이다에서는 실시간으로 강우에 대한 정보의 입수가 가능하지만 지상에서는 0.5 mm 관측 분해능으로 관측된 전도형 우량계 자료가 활용되고 있다. 이때 우량계에서는 0.5 mm의 강우가 되기 전에는 강우에 대한 정보를 제공할 수가 없다. 이것은 지상과 상층의 관측 시간 분해능이 서로 맞지 않는 상태인 것이다. 이는 우리나라 뿐 만 아니라 거의 모든 나라가 가지고 있는 문제점 중의 하나이다. 그리고 강설에 대해서도 현재 우리나라에서는 우설량계에 의해서 강설정보가 제공되고 있다. 이 강설 관측은 관측자에 의해 수동으로 만들어 지고 있는 자료이다. 다시 말해 자동화가 되어 있지 못한 상태이다. 관측 시간 분해능 불일치 또는 자동화가 되지 못하

여 실시간 예보에 자료제공이 되지 못하는 기상요소에 대한 장비의 개발은 매우 의미가 있는 것으로 사료되고, 이러한 문제점을 해결할 수 있는 장비가 개발될 경우에는 비교적 쉽게 세계 시장에 접근이 가능할 수 있다고 사료된다.

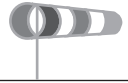
#### 5) 기후자료의 질적인 향상

일조에 대한 정의는 1980년 이전에는 없었으며, 그 이후 직달일사량 120 W/m<sup>2</sup>으로 WMO에 의해 정의 되어 있다. 이전까지의 일조에 사용된 장비는 조르단일조계, 캠벨스톡스 일조계 두 종류가 있었다. 이들 장비 모두 관측자에 의한 수동관측 장비였다. 이러한 점을 파악한 일본 기상청에서는 1980년부터 장비개발에 들어가 1986년에 회전식 일조계를 제작하여 실제 관측에 적용하였다. 또한 이 장비는 현재 일본, 미국, 한국에서 표준 장비로 사용을 하고 있다. WMO에서 권고하는 사항에 대해서 빠르게 대응한 결과로 일조에 대해서는 일본 EKO사의 회전식 일조계가 전 세계를 점유하고 있는 것은 바로 이러한 이유이다.

#### 6) 인력의 양성과 인적 관계 구성

모든 연구와 개발에 있어 가장 중요한 것은 인력이다. 이 인력의 양성은 대부분이 대학에서 이루어지는 것이 현실이다. 그러나 우리나라에서는 기상장비에 대해서 약 20년간 실질적인 연구비 지원이 없었다. 이 결과 우리나라에서는 거의 모든 대학의 연구에서 장비 관련 연구는 찾아보기가 어렵게 되었다. 현대 사회에서 가장 중요한 자원은 고급 인적 자원이다. 인적 자원 없이는 새로운 일을 계획하거나 실





행하기가 매우 어렵다. 이러한 우리의 현실에서 조금이나마 나아지기 위해서는 장비 개발에 대한 연구비의 투입이 필수적이라고 할 수 있다.

기상관측 장비는 단순한 상품과는 달리 현지 사업자가 정확한 장비의 사양과 특징 파악과 장비에 대해 소개하고자 하는 의지가 있어야 가능하게 된다. 이러한 것은 금전적인 관계만으로 다 된다고 보기는 어렵다고 생각된다. 인간적인 관계 형성은 시장 확보뿐만 아니라 현지의 정보 수집에도 많은 도움이 되어 상호간 모두 성공할 수 있는 기본 전략이 될 수 있다.

### 3. 장비 개발 사례

필자가 진행하고 있는 기상 장비(적설계)의 개발에 대해서 간단하게 소개하고자 한다. 현재 한국의 대관령과 일본 나가오카 두 곳에서 비교 관측을 통해서 장비의 성능 향상과 관측 능력을 검토하고 있고 현재 시장 진입 단계에 있는 장비를 소개하고자 한다.

#### 1) 중량식 적설계의 개발

- 사업명 : 기상지진기술개발사업(1단계 : 2006 ~ 2009, 3년간)
- 과제명 : 정밀 강설량계 개발을 위한 기반 연구
- 개발 장비명 : Lee type 중량식 적설판

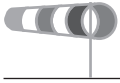
#### 2) 개발 목적

기상관측 장비의 국산화의 필요성과 적설관측에 있

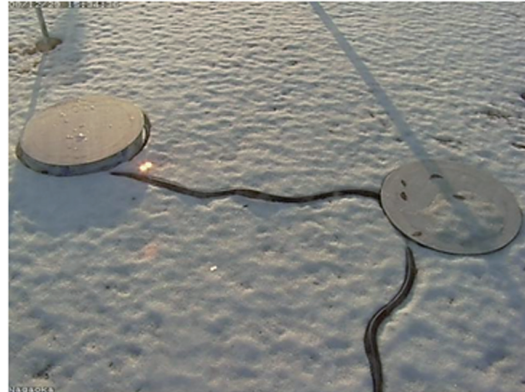
어 관측자에 의한 수동 관측을 자동 관측으로 변환하고, 레이다 관측에서 제공되는 강수(강설) 강도에 대한 정량적인 해석을 위해 중량으로 적설을 관측할 수 있는 장비를 개발하여, 적설에 대해서 실시간으로 중량 정보를 제공하는 것이다. 그리고 현재 일본에서 관측되고 있는 중량 적설 관측 방법을 개선하여 새로운 구조의 장비를 개발하는 것이다.

#### 3) 개발 방향

현재 일본에서는 적설 심도 관측에는 초음파, 레이저식 적설계를 사용하고, 적설 중량측정에 메탈웨이퍼 라는 장비를 이용하고 있다. 이 장비는 가로 세로 각각 1, 2m의 스테인레스 주머니 속에 부동액을 넣고 단단히 다진 모래위에 총 4개를 설치하여 그 부동액 속에 가해지는 압력으로 적설 중량을 측정하는 원리의 장비이다(그림 3) 참고, 장소: 일본 나가오카 소재 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention SNOW AND ICE RESEARCH CENTER (이하: NIED)). 현재 <http://www.bosai.go.jp/seppyo/>에 21 개 관측소에서 이 장비를 사용한 적설 중량 자료와 적설 심도자료가 같이 제공되고 있다. 이 장비는 구조가 복잡하고, 관리에 어려움이 있으며, 일본에서 관측을 시작한지 25년 이상이 지났지만 여전히 문제점이 있는 장비로 인식되고 있어 이에 대한 해결이 필요한 것으로 판명되어 문제 해결의 모델로 그 기준을 잡았다. 또한 장비의 설치까지의 가격은 약 200 만엔(현재 환율로 한화 3,000 만원)으로 매우 비싸다. 따라서 우리나라에 적합한 모델은 수압식이 아닌 간단한 구조의 중량식의 모델이 적합할 것으로 생각하고 제품 개발에 대한 연구를 시작하였다.



[그림 3] 야외에 설치된 메탈웨이퍼의 전경 (일본 나가오카 NIED)



[그림 4] Lee type 중량식 적설계 관측 모습 (일본 나가오카 NIED, 원격감시 카메라에 의한 촬영임)

#### 4) 제작된 모델의 야외 관측

[그림 4, 5, 6]은 제작된 장비의 야외 관측 모습이다 (장비의 직경은 1 m이다). [그림 4]는 일본 나가오카 소재 NIED에서 설치되어 관측중인 Lee type 중량식 적설계(이하 BYL)를 인터넷으로 연결된 웹 카메라로 한국의 연구실에서 촬영한 장면이다. 이러한 감시는 적설의 상태나 장비의 상태를 인터넷을 통해 원격으로 필드의 상황을 쉽고 빠르게 파악 할 수 있고, 관측된 자료의 해석에도 많은 도움이 되고 있다. [그림 5]는 일본 NIED 노장으로 좌측의 건물은 강설 입자를 영상 촬영하여 분석하는 곳이고, 멀리 보이는 쪽으로는 적설 관측 장비가 설치되어 있으며, 현재 새로 개발된 장비가 설치되어 테스트 중에 있다. 왼쪽 앞의 원형이 설치된 BYL 장비의 모습이다. [그림 6]은 대관령 기상대에 설치한 모습으로 태양 전지판(220 watt 급)에 의한 독립전원과 무선인터넷 통신망을 이용하여 대관령 현지의 상태를 일본에 설치된 장비와 같은 방법으로 연구실에서 볼 수 있게 하였다. 이러한 설치는 추후 산악지역의 적설 관측

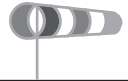


[그림 5] 일본 나가오카 NIED 노장 전경 (원격감시카메라에 의한 촬영)

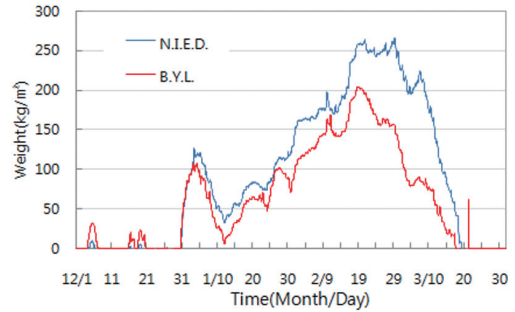
을 목적으로 사용될 환경에 맞게 제작되어 현재 필드 테스트 중이다.

#### 5) 야외 관측 결과

[그림 7]은 2007년 12월에서 2008년 3월까지 4개월 간의 비교 관측 자료로 NIED는 일본의 관측 장비인 메탈웨이퍼 관측 자료이고, BYL은 본 연구에서



[그림 6] Lee type 중량식 적설계 관측 모습 (대관령 기상대)

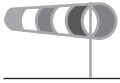


[그림 7] 나가오카에서 메탈웨이퍼(NIED)와 본 연구(BYL) 장비의 비교 관측 결과 (2007년 12월 ~ 2008년 3월)

개발된 장비의 자료이다. 두 장비는 NIED 노장에 있었으며, 두 장비는 약 30 m의 거리를 두고 관측되었다. Y축 값의 의미는 단위면적당 중량을 나타낸 것이다. 두 장비에서 관측된 값의 패턴은 잘 일치하고 있어 관측에 큰 문제는 없는 것으로 밝혀졌다. 적설 관측에서 가장 어려운 점은 정확한 적설 기준 값을 관측할 수 있는 장비가 아직은 없다는데 그 문제점이 있다. [그림 8]은 2008년 1월 20일에서 24일 대관령 기상대에서 관측자에 의해 수동으로 관측된 우설량 값과 BYL과 서로 비교한 자료이다. 총 적설량 70 mm에 대해서 두 관측 자료간의 상관은 0.99이고 기울기 값은 1.35로 지표면에 쌓인 적설량이 우설량 관측 값보다 약 35% 높게 나타났다. 두 장비의 관측 결과 현업 관측 장비로서 적용 가능성이 충분히 있음을 알 수 있었다. 특히 일본에서 4개월간의 안정적인 관측[그림 7]은 매우 고무적인 것으로 매우 간단한 구조의 장비로 적설관측이 가능함을 입증한 것이다. 이렇게 되면 많은 관측소에서 중량 적설 관측을 수행 할 수 있게 될 것이다.

#### 6) 개발 이후

본 장비는 일차적인 야외테스트에서 장비로서 활용 가능성이 충분히 있음이 밝혀졌으며, 특히 일본에 현재 운용중인 장비와 비교해서 그 패턴의 일치율이 높았다. 적설은 관측 장소에 따라서 매우 다르게 나타나며, 특히 녹을 때는 장소에 따라서 다른 것이 그 특징으로 이러한 점을 감안하면 충분히 좋은 결과를 얻었다고 볼 수 있으며, 일본 현지에서의 테스트는 일본 시장 진출 시에 야외 테스트 없이 바로 시장에 적용될 수 있다는 이점이 있다. 그리고 계속해서 2009년 가을 이후 적설 심도가 2 m 이상인 곳을 선정하여 지속적으로 관측을 할 계획을 가지고 있다. 특히 2009년 일본 쓰쿠바에서 열리는 아시아 3개국 (한국, 일본, 중국) 학회에 발표 신청을 한 상태이고, 2010년도 홋카이도에서 개최될 예정인 국제 관련 학회에도 발표할 예정으로 야외 실험뿐만 아니라 국제적인 학회나 WMO에도 장비를 소개하여 시장에 진입시킬 것이다. 이러한 과정은 장비에 대한 신뢰성 확보와, 다른 과학자들에게 알리는 한



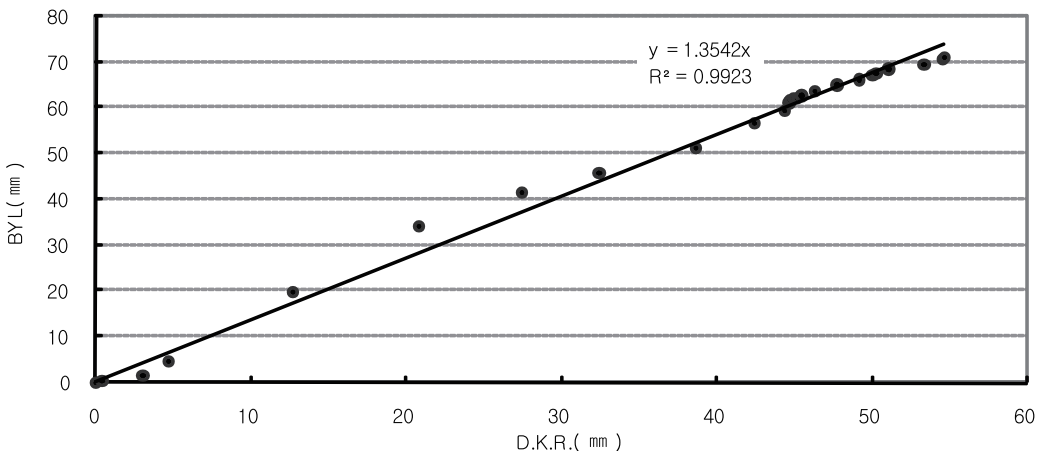
과정으로 장비의 국제 시장 진입에서는 매우 중요한 과정 중의 하나이다.

### III. 결론

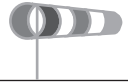
간단하게 우리의 현실에서부터, 장비 시장성 확보 전략, 그리고 실제 시장진입단계에 있는 장비에 대해서 소개를 하였다. 많은 부분에서 우리들은 기상장비는 시장성이 없는 것으로 판단하고 국산화 개발을 게을리 하였다. 특히 장비의 판매처로는 국내 시장으로만 한정하고 세계 진입과 고유의 장비 개발에 그 방향과 목표를 두지 않은 점은 심각하게 재검토하고 수정하여 나가야 할 사항이다. 그리고 이 분야에 대한 연구 개발 투자 또한 20여년 정도의 기간 동안 이루어지지 않아 현실에서는 핵심적인 역할을 할 인력이 양성되지 못하였다. 그렇지만 현실의 어려움 만

을 생각할 때는 아니라고 보며, 적극적인 자세로 기상장비의 세계에 접근하여 살펴본다면 좋은 결과가 있을 것으로 생각된다. 특히 마지막에 소개한 적설계의 경우 현재 적설 관측에서 깊이(물리량 : Length 차원) 측정에만 집중하여 개발을 하고 있으나, 실제로 필요한 관측 자료는 질량(물리량: Mass 차원)의 자료를 필요로 하고 있다. 이러한 것은 학문적인 접근 없이는 그 중요성과 필요성을 알 수가 없는 부분이다. 따라서 앞으로는 장비의 개발에 있어 학문적인 연구 접근은 꼭 필요한 것으로 생각된다.

현재 우리나라 고유의 장비로 수출 가능한 기상 관측 장비 품목은 거의 없는 것으로 사료된다. 이러한 현실은 우리가 앞으로 해야 할 방향이 어느 쪽인가를 분명히 지시하는 좋은 지표라고 생각한다. 우리 조상들의 우수한 과학 기술의 저력을 더욱더 발전 계승시켜 세계 기상장비 시장에 한국 고유의 기상



[그림 8] 대관령 우설량 관측 자료와 본 연구(BYL) 장비의 비교 관측 결과 (2008년 1월 20~24일)



장비들이 진입하여 외국 기상청을 방문할 때 관측  
노장에서 국산 장비를 볼 수 있는 날을 기대하면서  
이 글을 마친다.

### 참고 문헌

기상청 기상연구소, 1987: 기상계측장비의 효율적운영 및 국산  
화개발연구(I)  
기상청 기상연구소, 1988: 기상계측장비의 효율적운영 및 국산  
화개발연구(II)

기상청 기상연구소, 1989: 기상계측장비의 효율적운영 및 국산  
화개발연구(III)  
이부용, 김현철, 2009: 중량식 원형 적설판 개발에 관한 연구, 한  
국기상학회 '대기' 19(1), 출판중.  
<http://www.bosai.go.jp/seppy/o/>  
<http://www.wmo.ch/>  
<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/newsletters.html>) CIMO Newsletter Feb, 2008

## 외국의 기상레이더 개발 동향과 제언

이 규 원

경북대학교 천문대기과학과 교수

gyuwon@knu.ac.kr

### 1. 들어가며

기상레이더는 제2차 세계대전 이후 군사 레이더를 기상 관측의 목적으로 사용하면서 수많은 기술 발전이 있었다. 1980년대 도플러 기능의 추가는 강수계 특히, 위험기상 현상을 역학적으로 감시하고 분석할 수 있게 하였다. 현재 대부분의 공항용 기상레이더는 고 분해능의 바람 정보를 제공함으로써 위험기상 감시 기능을 극대화하고 있다. 1990년대 후반 이후 이중 편파기능이 기상레이더에 추가되면서 역학뿐만 아니라 미세물리에 대한 자세한 정보를 얻을 수 있게 되었다. 현재 이렇게 다양한 기상레이더 관측 자료가 수치모델의 초기자료로 사용되면서 위험기상 예측 기능을 강화하고 예보 정확도를 향상시키는데 이용되고 있다.

본 논문에서는 기상레이더가 제공하는 다양한 활용 분야를 소개하고 최근 기상레이더 개발 동향을 알아본다. 최근 많은 토론이 되고 있는 기상레이더의 국산화에 대하여 관련 국내 개발 동향 및 필요성을 살펴보고 국산화를 위한 필자의 제안을 기술하고자 한다. 2장에서는 기상레이더의 활용 분야에 대해서 살펴보고, 3장에서 최근 세계의 기상레이더 개발 동향에 대해 서술하였다. 마지막으로 4장에서는 지금까지의 국내 개발 동향 및 개발에 대한 제언을 기술하였다.

### II. 기상 레이더의 활용

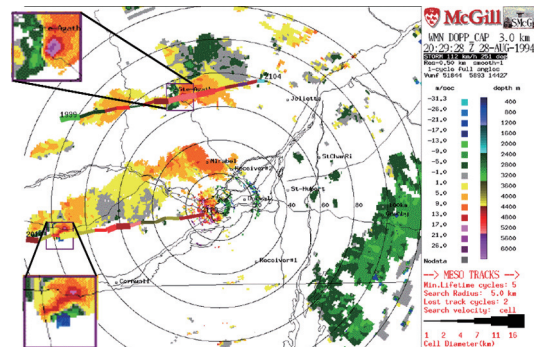
#### 1. 위험 기상 감시

레이더의 활용 분야 중 가장 중요한 하나는 실시간 위험기상 감시를 통하여 방재능력을 극대화하는 것이라 할 수 있다. 위험기상 감시를 위한 레이더 활용은 주로 공항을 위주로 실시간용 알고리즘을 개발하면서 그 가치가 극대화되었다. 1975년 6월 24일 미국 뉴욕의 John F. Kennedy 국제공항에서 발생한 Eastern Air Lines Flight 66의 사고는 활주로에 존재하는 강한 바람 시어 또는 마이크로버스트(microburst)에 의한 것이었다. 이러한 사고의 재발을 막고 방재 능력을 강화하기 위하여 미 연방항공국은 저층 난류경보시스템의 개발 및 레이더를 이용한 저층시어 감지시스템을 개발하였다. 미국 전역의 Terminal Doppler Weather Radar (TDWR)와 Next Generation Weather Radar (NEXRAD) 망에 저층시어 감지시스템이 운영되어 저층시어에 의한 비행기 사고를 크게 줄이고 있다. 최근 미 연방항공국의 통계에 의하면 레이더의 활용이후 저층시어에 의한 항공기 사고가 거의 발생하지 않는 것으로 집계되었다.

현재 현업용 레이더는 저층시어 감지시스템 뿐만 아니라 우박(hail), 토네이도(Tornado), 강풍, 중저기압(mesocyclone), 다운 버스트(downburst), 수렴/발산 등 다양한 위험기상 정보를 제공하고 있다. 이들의 감지를 위한 알고리즘은 레이더 반사도 및 도플러 시선속도를 이용하고 있다. 레이더 반사도는 주로 스톰의 연직 구조와 모양을 관측함으로써 위험기상을 감지할 수 있게 하고, 도플러 시선속도는 바람과 연관된 위험기상 현상을 정량화할 수 있게 한다.

최근 들어 이중편파기능이 레이더에 추가되어 실시

간으로 운영되기 시작하였다. 기존의 레이더가 수평 또는 연직 편파 중 하나의 파를 송신하여 기상정보를 획득한 반면 이중편파레이더는 두 파를 동시 또는 엇갈리게 송신하여 수신된 신호를 비교하여 보다 다양한 정보를 획득한다. 이러한 이중 편파레이더를 이용하면 스톰내부의 우적형태도 판별할 수 있다. 현재 미국에서는 NEXRAD를 이중 편파레이더로 업그레이드하는 사업이 진행 중이며, 모든 레이더가 이중 편파기능을 가질 경우 미세 물리 현상과 연관된 위험기상 즉 우박, 눈/비 경계, 폭우 등의 효율적이고 정확한 감시가 가능할 것이다. [그림 1]은 현재 캐나다 맥길대학교에서 실시간 운영하고 있는 위험기상 감지시스템으로 레이더로 감지한 중저기압과의 진행 경로 및 예보이다. 두 확대한 그림에서 보인 것처럼 강한 저기압성 회전이 존재하는 중저기압이 1시간 이상 지속될 것을 알 수 있다. 이 그림에서 실선의 굵기는 중 저기압의 크기를 나타내고 실선의 색은 중저기압의 연직 두께를 나타낸다.



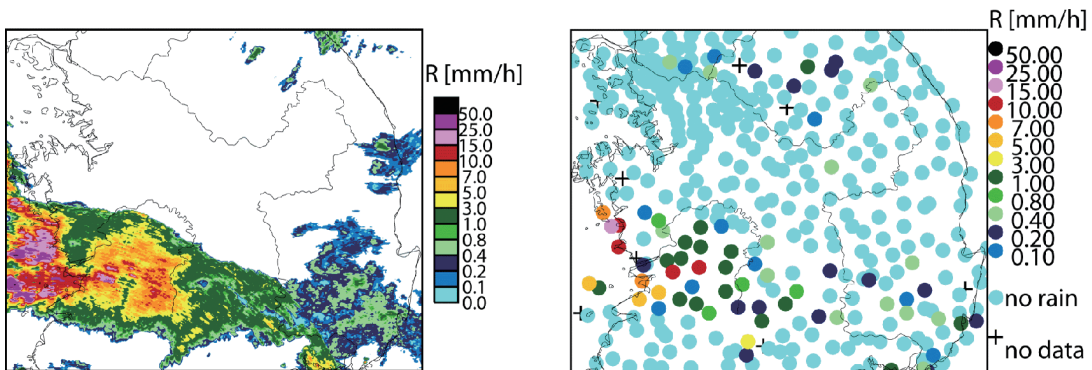
[그림 1] 캐나다 맥길대학교에서 운영하는 위험기상 감지 시스템으로 관측한 중저기압 및 이의 특성 (J. S. Marshall 레이더 관측소 제공).

## 2. 강수량 추정

한국의 경우 기상청, 국토해양부와 농업 진흥청에서 운영하고 있는 우량계 모두를 고려하면 우량계의 공간 거리는 수십 km에서 수 km의 다양한 분포를 가진다. 이러한 조밀한 우량계 망은 전 세계에서 유례를 찾아보기가 힘들 정도로 공간 밀도가 높은 것이다. 그러나 이러한 조밀한 우량계 망에도 불구하고 우량계로 측정된 강수량 정보는 시·공간 구조의 이해와 규명, 수문학적 사용을 위해서는 한계가 있다. 특히 여름철 폭우의 경우에는 강우의 공간 비상관 길이(De-correlation distance)가 수 km에 이를 정도로 시·공간의 변화가 심하다. 이렇게 시·공간으로 급격히 변화하는 강수 현상에 대하여 고 분해능의 자료를 제공하기 위하여 기상레이더를 활용한다. [그림 2]는 레이더로 추정된 강우 강도(왼쪽)와 한국의 조밀한 우량계로 관측한 강우 강도를 보인다. 이 그림에서 알 수 있는 것과 같이 우량계 관측 값은 전반적인 강수의 분포를 잘 나타낸다. 그러나 공간 분포의 한계 때문에 실제 강우에서 나타나는 작은

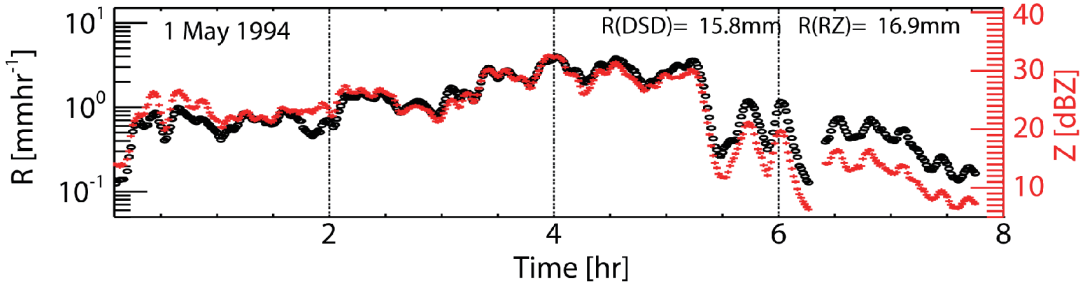
규모에서의 변화를 묘사하지 못한다. 이러한 현상은 특히 강우의 비 상관거리가 짧을 때 더욱 뚜렷하게 나타난다. 즉, 기존의 우량계 망으로는 비 상관거리가 짧은 강수의 공간 구조를 밝히는 것은 어렵다.

레이더를 이용한 강수량 추정은 레이더의 발달 역사와 함께 이루어졌다. 세계 2차 세계대전 이후 군용 레이더가 기상학에 응용되면서 가장 먼저 관심을 가진 것이 강수 관측이었다. 관측된 레이더 파워를 레이더 반사도로 정량화하고 이를 이용하여 강우 강도를 도출하는 기술이 50~60 년간 진보를 거듭하였다. 최근 연구는 이중 편파레이더 변수를 활용한 기술 개발이 주를 이룬다. 레이더 강수량 도출에서 가장 큰 한계점은 레이더는 강수량 또는 강도를 직접 측정하지 못한다는 점이다. 즉 관측된 레이더 변수 (레이더 반사도, Z)를 이미 알고 있는 관계식 (일반적으로 R-Z 관계식이라 부름)을 이용하여 강우 강도(R)로 변환하여 강수량 및 강우 강도를 추정한다. 따라서 이 관계식의 정확도에 따라 강수 추정 정확도가 결정된다. R-Z 관계식은 미세물리 과정에 따라



[그림 2] 레이더로 추정된 강우 분포 (왼쪽) 및 우량계 관측값 (오른쪽)



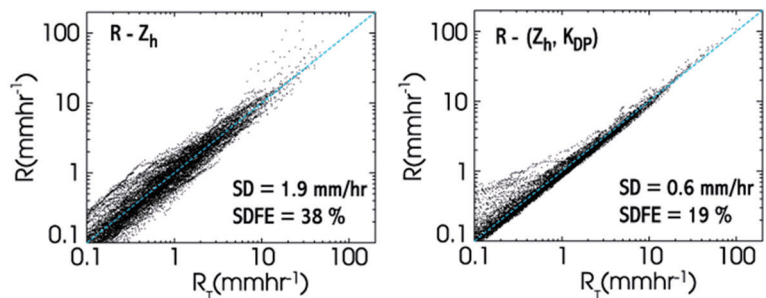


[그림 3] 우적계로 관측된 강우 강도와 레이더 반사도로부터 추정된 강우 강도. 추정식으로  $Z=210 R^{1.47}$ 가 이용되었음.

변화한다. 따라서 강수 추정 정확도를 향상시키기 위해서는 미세물리과정의 정확한 이해와 이를 활용한 적절한 R-Z 관계식의 적용이 필요하다. [그림 3]은 우적계로 구한 강우 강도와 레이더 반사도로 추정된 강우 강도를 나타낸다. 2~4시 사이에는 추정 강우가 실제 관측 값과 잘 일치하지만, 처음과 마지막 각각 두 시간 동안은 과대 및 과소 추정을 보인다. 이러한 체계적인 오차는 미세물리 과정의 변화와 연관되어 있으며, 미세물리과정의 변화에서 생기는 레이더 강우 추정 오차를 최소화하기 위하여 이중 편파기능을 기상레이더에 활용하고 있다.

이중편파레이더의 경우 레이더 반사도 이외에 차등 반사도(ZDR, Differential reflectivity), 차등 위상차(FDP, differential phase shift), 상관계수( $\rho_{HV}$ , Cross-correlation coefficient), 편파소광비(LDR, Linear depolarization ratio) 등을 제공하여 강우량 추정 오차를 줄일 수 있게 한다. 레이더 반사도와 강우 강도가 높은 상관관계를 보이는

것과 유사하게 비차등위상차(KDP, Specific differential phase shift)는 강우강도, 차등반사도는 우적 크기 분포의 중간부피직경과 높은 상관관계를 보인다. 따라서 이들 변수를 강우강도 추정에 사용하면 정확도를 향상할 수 있다. [그림 4]는 R-Z 관계식과 R-(Z, KDP)를 이용하



[그림 4] R-Z 및 R-(Z, KDP) 관계식을 이용하여 강우를 추정할 때 나타나는 강수 추정 오차 [Lee (2007)에서 인용]. R-Z 관계식의 경우 오차가 38%이며 이중 편파변수를 사용하였을 경우 오차가 19%로 감소함.

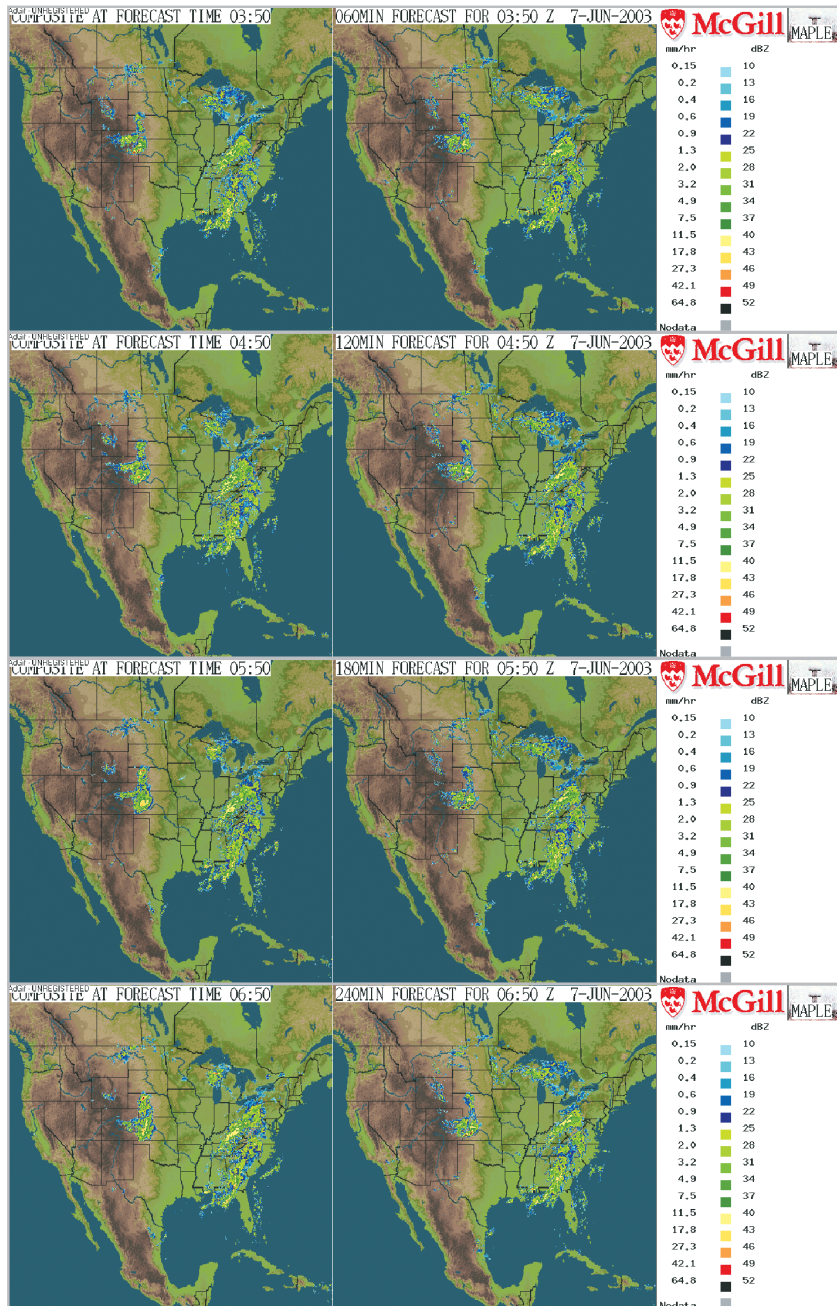
여 강우를 추정하고 이 추정 값(x-축의 값)을 관측 값(y-축의 값)과 비교한 것이다. 레이더 반사도만을 사용하여 강우강도를 추정하였을 경우 추정 오차가 38%인 반면 비차등위상차와 레이더 반사도를 동시에 사용하였을 경우 오차가 19%로 줄어든다. 이와 같이 이중편파레이더는 강우추정 정확도를 향상시킬 뿐만 아니라 미세물리현상의 이해와 자료품질 향상 등 다양한 기상학적 활용가치가 있다.

### 3. 초단기 예보 및 레이더 자료동화

레이더를 이용한 초단기 또는 실황 예보(Nowcasting or vert short-term forecasting)는 오랜 역사를 가지고 있으며 그 활용도가 매우 높다. 1953년 H. Ligda가 레이더 에코 외삽을 이용한 뇌우의 실황 예보를 제안한 이후 많은 변화와 발전을 거듭하였다. 레이더를 이용한 실황예보의 기본 원리는 현재 및 과거에 관측된 레이더 반사도 자료를 이용하여 레이더 에코의 이동에 대한 정보를 획득하고 이 정보를 이용하여 현재의 레이더 반사도 자료를 미래로 외삽하는 것이다. 1960~1966년 Travelers Research Center에서 처음으로 상관계수를 이용한 예보방법이 시도되었고 이후 최초의 현업용 실황예보시스템인 J. S. Marshall 레이더 관측소의 SHARP (SHort-term Automated Radar Prediction) 시스템이 1974년에 만들어져 1978년부터 캐나다 기상청으로 전송이 되어 현업 예보에 이용되었다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 가장 대표적인 레이더 실황예보 시스템으로는 캐나다 맥길대학의 MAPLE (McGill Algorithm for Precipitation-nowcasting by Lagrangian Extrapolation), TREC (Tracking

Radar Echoes by Correlation), 홍콩의 SWIRLS (Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized Systems), 호주 및 영국의 S-PROG (Spectral Prognosis nowcaster) 등이 있다. [그림 5]는 MAPLE로 생성된 북미 전역에서의 실황예보와 검증을 위한 해당시간의 관측 값을 나타낸다. 가장 위부터 1시간, 2시간, 3시간, 4시간 예보이다. 예에서 보인 바와 같이 예보 값과 관측 값이 잘 일치함을 알 수 있다. 이러한 레이더를 이용한 실황예보는 관측자료를 가장 효율적으로 예보에 이용하는 대표적인 예로서 강수계의 형태 및 위치를 효율적으로 예측한다. 그러나 실황예보의 경우 외삽에 의존하므로 일반적으로 강수의 생성, 성장, 소멸에 대한 정보를 예보에 반영하지 않는다. 즉, 급격하게 발달 및 소멸하는 강수계의 예측에는 적당하지 않다. 따라서, 이러한 단점을 보완하기 위해 역학기반의 예보기법인 수치모델을 사용한다. 수치 모델은 레이더 실황예보에서 표현이 어려웠던 생성, 성장, 소멸에 대한 정보를 제공하지만 그 정확도가 아직 해결해야할 문제로 남아있다. 이러한 정보의 시·공간 차이, 강수계의 형태와 위치의 부정확도는 수치모델의 효용성을 떨어뜨린다.

수치예보 정보의 정확도를 향상시킬 수 있는 방법으로 각광을 받고 있는 것은 자료 동화기법이다. 특히 중규모 현상의 예측을 위해서는 높은 시·공간분해능의 자료를 제공하는 레이더가 가장 효율적으로 이용된다. 레이더 자료를 이용한 자료동화는 크게 레이더 반사도 자료동화 및 시선속도 자료동화로 나눌 수 있다. 레이더 반사도 자료동화는 주로 레이더 반사도 값을 이용하여 수치모델에 응결잠열(latent



[그림 5] MAPLE로 생성된 북미 전역의 실황예보(오른쪽)와 검정(왼쪽).  
 제일 위부터 차례로 1시간, 2시간, 3시간, 4시간 예보.

heat)에 관한 정보를 제공하거나 구름 분석(cloud analysis)에 이용된다. 시신속도의 경우 주로 역학장에 관한 보다 정확한 모델 초기 값을 얻거나 모델 방정식의 연관성을 이용하여 열 역학장을 도출하는 분야에 주로 이용된다. 이러한 레이더 자료동화의 궁극적인 목적은 다른 관측 장비에서 얻을 수 없는 중규모 또는 미세규모의 정확한 기상장을 산출하여 모델 초기 자료를 향상하고 이를 통하여 모델정보의 정확한 예측값을 획득하는 것이다.

레이더 자료동화의 경우 주로 작은 영역에서 고 분해능으로 분석을 하기 때문에 많은 컴퓨터 자원이 사용된다. 따라서 현업사용을 위해서는 코드의 병렬화를 통한 수행속도 향상이 수반되어야한다. 또한 현재 레이더 반사도를 강수량으로 환산하여 자료 동화함으로써 레이더 반사도를 직접 자료동화할 수 있는 기법이 개발되어야 한다. 레이더의 경우 자료가 극 좌표계에서 얻어짐으로 근거리에서는 많은 자료가 원거리에서는 적은 수의 자료가 획득된다. 이에 반해 수치모델의 경우 모든 변수가 주로 직교좌표계에서 표현되므로 좌표계 변환에 따른 자료 효용성 또한 고려되어야한다. 레이더 자료동화에서 중요하게 고려되어야하는 사항은 레이더 자료의 품질 관리이다. 레이더 자료는 관측 방법, 레이더의 위치 및 주위 환경, 대기 상태 등에 따라 다양한 형태의 문제를 가진다. 레이더 하드웨어의 안정성이 가장 선행되어야 하고, 이후 기상 현상과 관련이 없는 레이더 에코의 제거는 필수적이다. 레이더는 거리에 따라 샘플링의 부피, 관측 고도가 변한다. 따라서 기상 현상이 유사한 경우일지라도 거리에 따른 효과는 자료동화에서 고려되어야 한다. 향후 레이더 자료 동

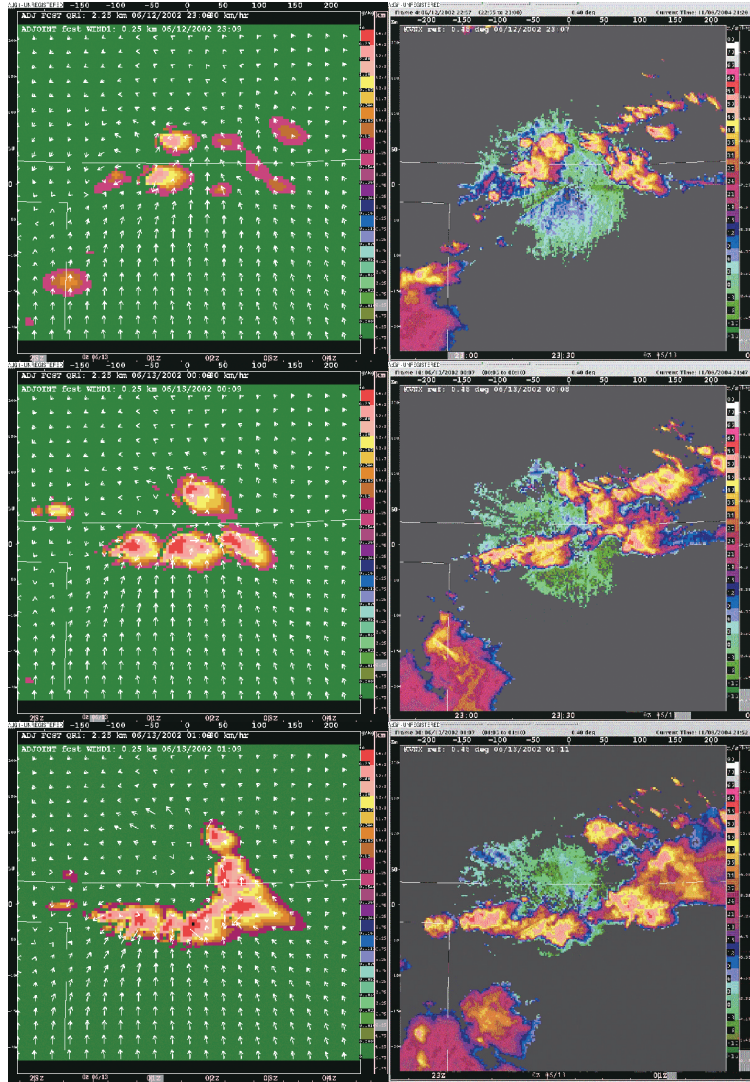
화에서 가장 중요하게 다루어져야 할 내용은 레이더 관측자료의 오차 구조를 파악하고 이를 자료동화에 활용하는 것이다.

[그림 6]은 미국립기상연구소(NCAR, National Center for Atmospheric Research)에서 개발한 4차원 변분법을 이용한 레이더 자료 동화기법을 이용하여 생성한 강수 예측장(왼쪽)과 검증용 위한 관측장(오른쪽)이다. 첫 번째 줄은 예측이 시작된 초기 시간이며, 아래 두줄은 매 1시간마다 예측된 강수와 동일시간의 관측장이다. 만약 초기시간의 레이더 자료로 실험예보를 하였을 경우 강수가 아주 작은 영역에서 셀 형태로 발생할 것으로 예측할 것이다. 즉 발달 및 성장하는 강수계를 예측할 수 없다. 이에 반하여 VDRAS는 강수가 성장하여 활 형태의 강수가 발생할 것으로 예측하였고 관측 레이더 반사도 또한 유사한 결과를 나타낸다. 물론 강수 셀의 위치 및 강도 등을 정확하게 예측하지 못하였으나 전반적인 강수 성장 형태는 아주 잘 묘사하고 있다는 점에서 고무적이다. 그러나 다양한 강수계에 대하여 이러한 정확도 높은 예측을 실시간으로 제공하기 위해서는 보다 많은 연구가 있어야한다.

### III. 세계적 개발 동향

#### 1. 이중편파 레이더(Dual-polarization radar)

이중편파 레이더기술은 Seliga and Bringi (1976)에 의해 레이더 반사도와 차등반사도를 사용하여 강우 강도 추정 정확도를 향상시킬 수 있음을 보이면서



[그림 6] NCAR의 VDRAS로 생성된 초단기 강수예측장(왼쪽) 과 레이더 관측장 (Dr. Jenny Sun 제공)

본격적인 연구가 시작되었다. 이후 강우량 추정 이외에도 다양한 분야에서 이중편파 레이더의 효용성을 보여주는 실험 결과가 도출되었다. 지난 20~30년간의 꾸준한 연구와 개발의 결과로 현재 전 세계

적으로 단일 편파레이더의 대안으로 이중편파 레이더가 개발되어 현업에 사용되고 있거나 교체중이다. National Weather Service (NWS)에서는 이러한 이

중편파레이더 기술의 발전 및 중요성을 인식하여 현재 전 NEXRAD에 이중편파기능을 추가하고 있다 (Saffle et al, 2006). 2009년 NEXRAD를 이용한 첫 현업용 이중편파 레이더가 운영될 예정이다. 미국 국립기상연구소에서는 전 세계적인 다양한 요구에 부합하고자 S-밴드 이중편파레이더(S-Pol)를 제작하여 전 세계 여러 곳에서 다양한 집중관측을 실시해오고 있다(Keeler et al. 2000). 2008년 장마철에 대만에서 향해졌던 집중관측은 이의 좋은 일례이다. Colorado State University에서 운영 중인 CSU-CHILL (Colorado State University-University of Chicago-Illinois State Water Survey)의 경우 콜로라도의 로키산맥 동쪽에 위치하여 다양한 알고리즘 개발과 다양한 형식의 이중편파기술을 시험하고 있다. 캐나다의 경우 1970년대 National Research Council을 중심으로 다양한 이중편파기술이 시험되었고 1999년 부터 J.S. Marshall 레이더 관측소에서 첫 현업용 이중편파레이더를 운영하고 있다. 특히 강수 형태 판별 알고리즘의 결과가 실시간으로 캐나다 기상청에 전송되어 현업 예보자들이 효율적으로 사용하고 있다.

현재 널리 사용되는 이중편파 기상레이더는 크게 두 종류가 있다. 첫째는 45도 편파된 파를 송신하여 수평/수직 편파로 나누어서 수신하는 방법이다. 이 방법을 동시 모드 (simultaneous mode)라고 부른다. 이 방법은 일반적으로 하나의 송신기로 전자기파를 보내고 도파관에서 분리를 이용하여 두 파로 나누어 한쪽 파의 위상을 바꾸어 안테나에서 분리된 두 파를 동시에 송신한다. 이때 45도 방향으로 편파된 파가 송신이 된다. 이 파가 강수 입자에 후방산란

되어 안테나에 포획되어 두 개의 도파관을 통해 수평/수직 편파 성분 각각이 수신기로 전달되어 분석된다. 동시모드의 경우 파가 두 개의 도파관으로 분리되어 송신되므로 파의 강도가 3 dB 낮아져 감도가 다소 떨어지는 단점은 있으나 수평/수직파가 동시에 수신되므로 기상현상 변화에 의하여 발생하는 레이더 관측 값의 오차는 작다. 둘째는 수평/수직파를 동시에 송신하는 대신 수평/수직파를 번갈아가면서 송신하여 두 편파 성분을 각각 다른 시간에 수신하는 방식이다. 이 방법을 교차 모드 (Alternating mode)라 부른다. 예를 들어 먼저 수평파를 송신하고 수평파가 강수입자에 후방산란되어 돌아오면 수평성분을 수신한다. 수신이 종료되면 이번에는 수직파를 송신하고 후방산란되어 돌아온 파의 수직성분을 수신하는 방식이다. 이 방법은 수평/수직파 성분이 동시에 획득되지 않고 일정한 시간 간격을 가지고 얻어지므로 실제 똑같은 기상현상에서 관측한 값이 아니다. 따라서 관측 값에 오차가 발생하게 된다. 이러한 관측 오차를 줄이기 위해서는 안테나 회전속도를 줄여 레이더 변수 계산 시 사용되는 샘플링 수를 늘리면 된다. 따라서 이 방법에서는 빠른 스캔이 용이하지 않다. 또한 이 방법은 수평/수직파를 교체해줄 고성능의 스위치가 필요하다.

NWS 및 J.S. Marshall 레이더 관측소의 경우 관측 오차를 줄이고 빠른 스캔을 통하여 위험 기상 감지 능력을 극대화하기 위하여 동시모드를 선택하였다. S-Pol과 CSU-CHILL은 동시모드와 교차모드 모두를 적용할 수 있게 디자인하였다. 한편 동시모드에서 발생할 수 있는 다양한 관측 오차가 발표되고 있어 이중편파 기술에 대한 새로운 제고가 있어야 하

겠다. 특히 최근에는 동시모드에서 편파가 정확하게 45도가 아닐 경우, 강수 입자가 평균 영의 캔팅각(mean zero canting angle)이 아닐 경우 발생할 수 있는 관측 오차에 대한 연구가 진행 중이다.

이중 편파레이더의 경우 단일 편파레이더와 비교하면 다양한 장점이 있다([표 1] 참고). 그 효용성을 크게 3가지로 설명하면 다음과 같다. 첫째, 이중편파레이더는 단일편파 레이더에 비하여 보다 정확한 강수 추정을 가능하게 한다. 반사도 이외에 이중편파레이더에서 얻어지는 차등 반사도는 우적크기분포의 중간부피직경(Median volume diameter)과 높은 상관관계를 보인다. 차등 위상차는 레이더 반사도보다 강우 강도와 더 높은 상관관계를 가진다. 레이더 반사도와 편파변수를 동시에 사용하였을 경우 미세물리과정의 변화 때문에 발생하는 강수 추정 오차를 줄일 수 있다. 따라서 이중편파 변수는 정확

한 우적 크기 분포 추정뿐만 아니라 강우강도 도출을 가능하게 한다.

둘째, 이중편파변수는 수상체 분류를 가능하게 하여 다양한 미세물리 정보를 제공한다. 단일편파레이더의 경우 반사도의 연직구조 정보로부터 밝은 띠의 유무를 판단할 수 있을 정도로 미세물리에 대한 정보가 제한되어 있다. 이에 반하여 이중편파레이더의 경우 다양한 변수로부터 퍼지윌리 또는 신경망을 이용하여 다양한 강수 형태를 구별할 수 있다. [그림 1]은 NCAR의 S-Pol로 관측한 이중편파 변수 및 수상체 분류 알고리즘을 이용하여 구한 강수 형태를 나타낸다. 고도 4~5 km 부근에 “wet-snow”로 판별된 밝은 띠(Bright band)가 나타나고 그 위로는 눈 및 얼음 결정이 나타나고 그 아래로 다른 강도의 비가 존재한다. 또한 20~30 km 부근에 싹삭 우박(graupel)과 우박(hail)이 있음을 알 수 있다. 이처

[표 1] 단일/이중편파레이더의 특성별 비교

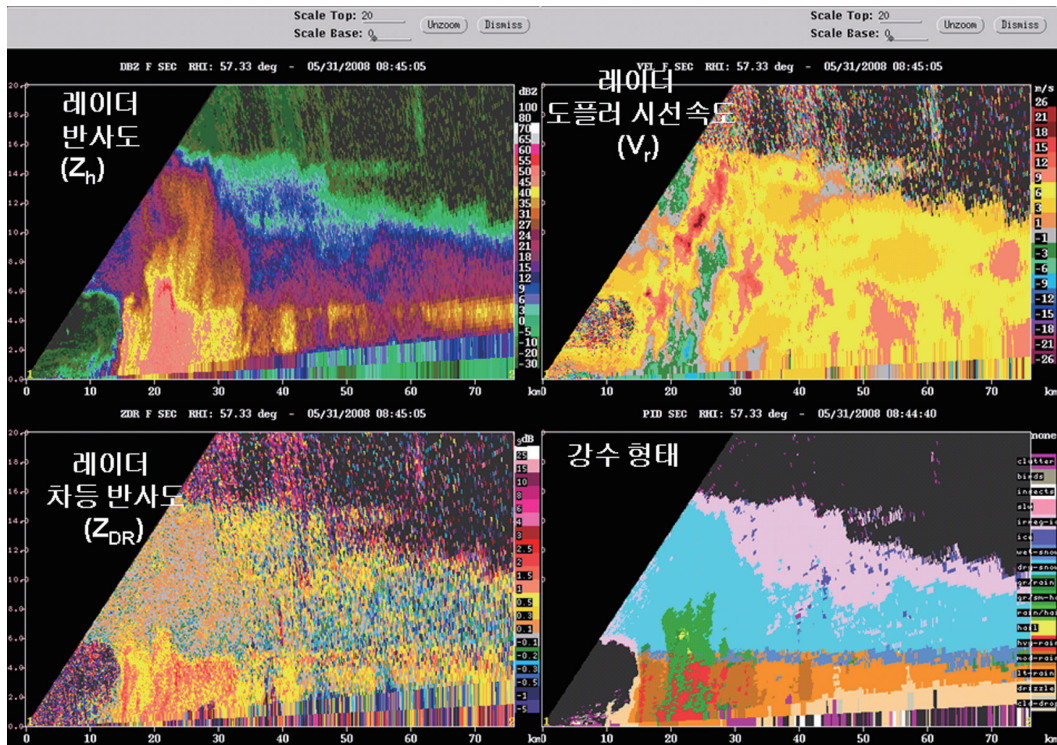
특성	단일편파레이더	이중편파레이더
관측변수	반사도, 시선속도, 스펙트럼폭	수평/수직 반사도, 시선속도, 스펙트럼폭 차등반사도, 차등위상차 상관계수, 편파소광비
강수량 추정	반사도로 추정	반사도로 추정 반사도, 차등반사도로 추정 반사도, 비차등위상차로 추정 반사도, 차등반사도, 비차등위상차로 추정
품질관리	에코의 특성을 이용한 비기상에코 제거	다양한 변수를 이용한 비기상에코 제거 용이
강수 형태	눈/비 구분	눈/비 구분 싹삭눈, 우박 구분 용이 눈, 빙정 결정 구분 새, 곤충 등 생물학적 에코 구분
레이더 반사도 보정	하드웨어 보정, 우적계를 이용한 보정	하드웨어 보정, 우적계를 이용한 보정 자기상관관계를 이용한 보정

럼 이중편파레이더 변수를 이용하면 다양한 미세물리 정보를 획득할 수 있다.

셋째, 이중 편파 변수는 레이더 자료 품질검사를 용이하게 하여 보다 양질의 레이더 자료를 생성하게 한다. 레이더 관측 값 중 정량적 사용을 가장 어렵게 하는 것은 레이더 반사도 값의 보정 오차와 지형지물, 새, 곤충과 같은 비 기상에코들이다. 이중 편파레이더 변수 중 차등위상차는 위상에 대한 정보로 레이더 보정오차에 영향을 받지 않는다. 한편 차등위상차, 레이더반사도, 차등 반사도는 서로 밀접한 자기상관관계를 가진다. 따라서 이 관계식을 이용하

여 계산한 차등 위상차와 관측 된 위상차를 비교하여 레이더 보정을 정확하게 할 수 있다. 또한 이중편파 변수는 비 기상에코에 대해 기상에코와는 다른 특성을 가진다. 일반적으로 비 기상에코의 경우 상관계수가 낮고, 차등위상차 및 차등 반사도 값이 공간에서 연속적으로 변화하지 않고 불연속적인 특성을 보인다. 따라서 이러한 이중편파변수의 비기상에코에 대한 특성은 이들을 보다 쉽게 판별하고 제거할 수 있게 한다.

2. Adaptive Sensing 및 위상배열 레이더 (PAR, Phased Array Radar)



[그림 7] NCAR의 S-Pol로 관측한 이중편파변수 및 퍼지원리를 이용하여 구별된 강수 형태.



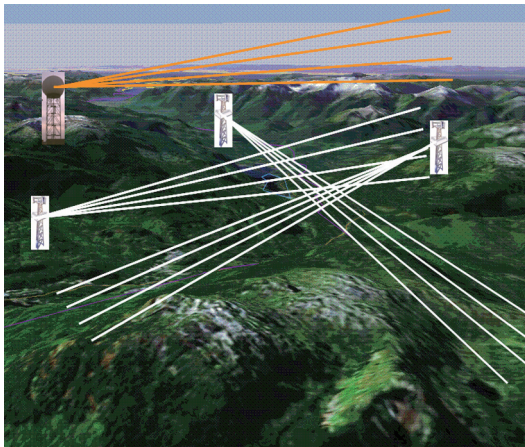
최근 들어 레이더 자료에 대한 요구가 다양해지고 있다. 앞에서 레이더의 활용부분에서 언급한 것과 같이 레이더는 위험기상 감시, 강수량 추정, 미세물리 정보획득, 실황예보, 수치모델의 초기 입력자료 등 그 사용 분야가 급격히 늘어나고 있다. 위험기상 감시능력을 향상시키기 위해서는 빠른 스캔을 통하여 3차원 정보를 신속히 획득하는 것이 중요하다. 이에 반하여 보다 정확한 강수량을 획득하기 위해서는 양질의 레이더 변수를 저층고도에서 연속적으로 획득하는 것이 우선되어야 한다. 이 두 분야 모두를 충족시키기 위해서는 빠른 스캔을 통한 3차원 자료 획득과 동시에 고분해능의 저층자료가 연속적으로 얻어져야하므로 스캔 방법이 서로 상반된다고 할 수 있다. 이에 더하여 미세물리, 실황예보, 자료동화 등을 고려한다면 이러한 다양한 요구를 충족시킬 수 있는 스캔 방법은 현재 사용하는 현업용 레이더에서는 불가능하다고 할 수 있다. 또한 현업용 레이더의 대부분이 대형 레이더이므로 최소한 반경 120 km 이상 영역을 관측하는 것이 목적이다. 지구 곡률로 인하여 관측 거리가 레이더에서 멀어질 경우 관측할 수 있는 최저 고도가 점점 증가하여 원거리에서는 저층을 관측하는 것이 불가능해진다. 실제 전국적으로 레이더 망이 조밀하게 분포하고 있지만 지형 및 지구 곡률을 고려하면 지상 500m아래에 대한 관측 능력은 매우 작다. 따라서 이러한 다양한 활용 분야로 인하여 발생하는 스캔상의 모순 및 저층 관측 능력의 저하를 해결하기 위하여 빠른 스캔이 가능한 소형 레이더 개발이 미국을 중심으로 활발하게 진행 중이다.

이의 대표적인 예가 CASA (Center for Collaborative

Adaptive Sensing of the Atmosphere) 프로젝트이다(McLaughlin et al. 2005). 이 프로젝트의 목적은 1) 위상레이더를 이용하여 스캔 속도를 증가함으로써 기상 감시 능력을 향상하고 2) 기존 대형 레이더에서 보지 못하던 저층을 많은 수의 소형레이더를 이용하여 초고속 스캔을 함으로써 고분해능의 자료를 획득하여 수치모델에 입력함으로써 초단기 예측성을 향상시키고, 3) 기존 대형레이더의 천편 일률적인 부피스캔을 탈피하여 기상현상 및 뇌우에 적응하는 탐사를 실시하여 위험기상 감시 및 자료 획득을 극대화하는 것이다. 대부분의 대형레이더는 안테나 제어기 및 가대를 이용하여 기계적으로 안테나를 움직여 자료를 획득한다. 이러한 방식은 스캔속도가 느리기 때문에 다양한 요구를 동시에 충족시키는 것이 불가능하다. 이러한 스캔의 한계점을 극복하기 위하여 기계적 스캔을 위상배열 레이더(PAR)를 이용한 전자적인 스캔방법으로 바꾸어 스캔속도를 높임으로써 자료획득을 최대화 하고자 한다. 이러한 CASA 프로젝트 이외에도 기존에 레이더 기술을 이용하여 개발된 여러 개의 소형 이중/단일 편파 x-밴드 레이더를 부가가치가 높은 지역에 설치하고 이들을 네트워크로 묶어서 감시 및 예측 기능을 극대화하려는 노력이 일본 도쿄를 중심으로 진행되고 있다.

한국의 경우 내륙에 설치된 대부분의 레이더는 시야확보를 위하여 산꼭대기에 위치한다. 따라서 산 아래쪽에 위치한 분지나 근처 산봉우리 넘어 골짜기나 평지는 저층에서 자료를 획득하지 못한다. 따라서 기존의 대형레이더 망에 더하여 이러한 분지나 골짜기에 위상레이더 또는 소형레이더를 설치하

여 기상현상에 따라 적절한 스캔을 함으로써 위험 기상 감시 및 예측 능력을 향상할 수 있을 것이다 (그림 8) 참고). 소형레이더는 대형레이더에 비하여 지형에코의 강도가 상대적으로 약하고 좁은 레이더 빔을 활용할 수 있어 특히 산악지형에서 활용이 기대된다. 그러나 이러한 위상배열 레이더의 전자식 스캔은 편파빔을 왜곡시킬 수 있다. 따라서 정확한 강우량 추정을 위하여 이중편파 위상배열 레이더를 사용할 경우 이에 대한 구체적인 연구가 요구된다. 또한 소형 레이더를 사용할 경우 강한 강수에 의한 감쇄가 크게 나타나므로 이를 보완하기 위하여 반드시 네트워크 형식의 이중편파레이더 설치가 필요하다.



[그림 8] 산악지형에서 대형 레이더와 소형 위상배열 레이더를 활용한 악기상 감시 레이더 망의 일례.

#### IV. 국내 동향 및 개발 여건

##### 1. 국내 레이더 활용

현재 한국은 3개의 정부기관에서 각 부처의 목적에 부합한 레이더 망을 구축하였거나 구축중에 있다. 기상청은 현업용으로 3개의 C-밴드, 7개의 S-밴드 단일 편파레이더를 보유하고 있다. 점차 C-밴드 레이더가 S-밴드로 교체되고 있으며 위험기상 감시 및 정량적 강우량 추정이 주목적이다. 현재 레이더 자료의 일부분은 현업용 수치모델에서 자료동화를 위한 입력 자료로 활용이 되고 있다. 레이더 자료 처리 중 가장 중요한 부분인 자료 품질 검사는 하드웨어에서 사용하는 필터 및 후처리 과정을 이용한다. 레이더 자료는 기상청 본청으로 송신되어 레이더 합성도 제작 및 강수량 추정에 이용되고 있다. 레이더 합성도는 컬럼에서의 최대 값, 저층 값, CAPPI 등으로 만들어진다. 이들 레이더는 이중편파기능을 보유하고 있지 않으나 백령도를 시작으로 추후 레이더 교체 시 이중편파레이더 도입을 고려하고 있다. 대한민국 공군은 총 9개의 C-밴드 레이더를 보유하고 있다. 주 사용 목적은 공항 주위의 위험기상 감시이며 일부분의 레이더 자료만 공군 전대로 송신된다. 현재 5개의 레이더를 이용하여 공군 레이더 합성도를 제작하고 있으며 2009-2010년에 3개의 레이더를 교체할 예정이다. 공군 레이더는 레이더 설치지점의 특성상 저층 고도각이 주위 지형지물 및 산에 차폐되어 저층에서 자료 확보가 어렵다. 그러나 기상청 레이더에 비하여 공간 분해능이 뛰어나 미세규모에서의 바람장 산출이 용이하다. 가장 후발주자인 국토해양부의 한강 홍수 통제소는 현재 임진강 유역의 강우 관측

을 위하여 C-밴드 레이더를 운영하고 있다. 금년 한국에서는 최초로 이중 편파레이더를 비슬산에 도입하고 2012년까지 총 6개의 S-밴드 이중편파레이더를 도입할 계획이다. 정량적 강수 추정 및 이의 홍수 예보 모델의 초기자료로 사용하는 것이 주목적이라 할 수 있다. 따라서 이중편파기능을 활용하여 강수량 추정 정확도를 향상시키는 것이 필수적이다. 또한 모든 레이더가 내륙에 위치할 계획이다. 따라서 다양한 비 기상예코가 관측될 것이며 이의 제거를 위한 획기적인 알고리즘 개발이 요구된다. 이중 편파레이더 변수들은 비 기상예코에 뚜렷한 특성을 나타내므로 이들 변수들이 자료 품질 향상을 위하여 효율적으로 사용될 것이다. 또한 S-밴드 이중편파레이더의 도입이 완료되는 시기에 동해안 지역 또는 내륙의 주요 소유역 강수량 관측을 위하여 x-밴드 이중 편파레이더를 도입하여 활용할 계획을 세우고 있다.

이외에도 인천 공항의 TDWR, 기상연구소의 x-밴드 레이더 및 미국으로부터 도입예정인 x-밴드 이중 편파레이더, 미국 공군에서 운영하는 WSR-88D 두 대가 있다. 대학으로는 경북대학교에서 맥길대학에서 구입한 연직 지향레이더를 운영중이며 광주 과기원에서 목표물 관측을 위해 개발된 k-밴드 전통레이더를 보유하고 있다. 또한 지방 자치단체에서 자체 레이더를 활용 할 방안을 마련하고 있어, 2012년 이후는 한국에서 30여개의 레이더가 현업용으로 운영 될 걸로 예상된다.

## 2. 개발의 필요성

2009년 2월 16-17일 양일간 국립기상연구소 주관

으로 열린 “기상장비 국산화 전문가 집중 토론회”에서 레이더 및 라디오메터 개발이 최우선 개발 과제로 의견 수렴되었다. 또한 매년 기상연구소 주관으로 개최되는 “기상레이더 워크샵”을 통하여 기상레이더의 국산화가 지속적으로 제기되었다. 이러한 전문가 토론회에서 주로 거론되었던 레이더 국산화의 필요성은 크게 세 가지 측면에서 살펴볼 수 있다.

### 해외 기술 의존으로 인한 유지보수 어려움

제9회 기상레이더 워크샵에서 구덕산 기상 관측소의 직원이 구덕산 레이더에서 로터리 조인터와 슬립링의 위치 때문에 발생하는 구조적 결함을 언급하면서 국내 자체 기술에 의한 레이더 개발 시 이러한 구조적 결함을 미연에 방지할 수 있음을 토로하였다. 즉 기술력 부재에서 오는 한계점을 지적한 것이다. 이것이 현재 우리나라 레이더관련 현업 부서 및 학계에서 공통적으로 생각하고 있는 문제점이다. 여름철 위험기상이 발생하는 시기에 레이더에 문제가 발생하면 외국 기술자가 오거나 한국 공급회사가 부품을 완전히 교체할 때까지 기다려야한다. 이러한 과정이 짧게는 수일, 길게는 수개월에 이를 때가 있다. 많은 기상 장비가 외국에서 도입되는 상황에서 이것은 기상레이더만의 문제가 아니다. 근본적인 원인은 필요성에 의하여 레이더 구입에만 투자를 집중하였지 장비의 운영 및 추후 개발 방안에 대한 구체적인 대책이 수립되지 않았기 때문이다. 외국의 경우 많은 시간과 예산이 소요될지라도 장비가 필요하면 필요성에 맞게 설계하고 제작하여 추후 운영 및 개선에 더 초점을 맞추어서 사업을 진행한다. 이러한 과정에서 안정된 기술력이 확보되고 새로운 기술이 개발되는 것이다. 장비 사용에만 급급한 상황

에서 보수, 개선, 및 개발은 어렵다.

외국의 전문기관에서는 자체 기술 없이는 레이더 구입을 자제한다. 레이더는 가전제품처럼 백화점에서 구입하여 큰 문제없이 수년간 사용하다 새 모델로 교체하면 되는 그런 안정화된 제품이 아니다. 가전 제품은 소비자의 손에 닿기 이전에 공장에서 부품별로, 완제품으로서 수많은 검사를 거친 이후에 소비자의 손에 들어온다. 이에 반하여 레이더는 이러한 수많은 검사과정을 거치지 않을 뿐만 아니라 이렇게 안정한 제품을 만들고 수많은 검사를 거쳐 완제품을 만들 수 있을 정도로 재력을 갖춘 회사는 많지 않다. 이러한 검사과정이 많아질수록 레이더의 가격은 급격히 올라갈 것이다. 따라서 레이더는 제작 과정 자체에서부터 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 현업 운영 중에 문제점이 발생하는 것은 당연하며 기술력 없이는 적절한 보수를 할 수 없다. 전 세계적으로 유명한 레이더 관련 연구소 및 대학의 경우 이러한 문제점을 인식하고 자체 기술력확보를 통하여 수시로 발생하는 문제점에 능동적으로 대처한다.

국내 및 해외 시장 규모 증가에 의한 경제적 효과 앞 절에서 언급하였듯이 현재 정부 3개 부처에서 운영하는 레이더는 20개 이상이며 앞으로도 계속 증가할 것이다. 수명 및 교체시기를 10년으로 본다면 해마다 2개 이상의 수요가 발생한다. 또한 지방자치단체에서 레이더를 이용한 방재기능 강화정책과 해외에서 기하급수적으로 증가하고 있는 레이더 수요를 고려한다면 시장 전망은 굉장히 밝다고 할 수 있다. 또한 현재 기술 및 응용 분야를 뛰어넘어 새로운 개념의 레이더 응용분야가 열리고 있다. 큰 예산을

요구하는 대형레이더 제작에서 작은 예산과 몇 명의 개발인원으로 가능한 소형레이더 시장이 새롭게 열리고 있다. 지난 레이더 학회에서 한 기업의 연구원은 국내 수요 10대, 해외 수요 200대로 예상하고 개발비를 100억으로 잡아 사업성이 없거나 미흡하다고 결론지었다. 그러나 레이더 개발에는 100억이 소요되지 않는다. 우리가 흔히 알고 있는 외국의 어느 레이더 회사도 100억이라는 어마어마한 돈을 투자하여 레이더를 개발하지 않는다. 레이더는 활용 목적에 따라 수억원에서 수십억원의 경비로 만들 수 있다. 또한 투자 인원 면에서 3~4명의 전문가로도 레이더 제작은 충분히 가능하다. 실제 해외 레이더 제작업체의 50~60%이상이 10명 내외의 인원으로 레이더를 제작 판매하고 있다. 레이더 유지 보수 시장 또한 무시할 수 없다.

#### 기술 자립에 의한 경쟁력 확보

경제성 및 유지 보수의 어려움보다 더 중요한 것은 기술 자립이다. 경제성이 없다고 할지라도 경우에 따라서는 정부 주도의 투자로 자립 기술을 구축하는 것이 선진국이다. 기상은 국민의 보다 윤택한 삶을 위해서는 반드시 필요한 분야이므로 앞으로 더욱 더 많은 투자가 예상되며 상업시장도 급속도로 성장할 것이다. 위험기상 감시 및 방재 기능 강화를 통한 국민의 삶의 질 향상이 선진국의 문턱에 서있는 한국에게는 매우 중요하다. 또한 위험기상 감시 및 방재 기능 강화의 중심에 레이더 기술이 위치한다. 레이더 기술의 자립을 통한 경쟁력 확보와 이로 인한 기상 및 방재분야에서의 파급효과는 한국을 기상기술 강국으로 성장시키는 주춧돌이 될 것이다.

### 3. 개발 현황

한국에서 레이더 개발은 국방 산업을 위주로 이루어졌다. 방위산업청, 산업자원부의 지원을 기초로 방위산업업체들의 적극적인 개발 참여로 다수의 군사용 레이더가 개발되었다. 현재까지 개발된 레이더로는 해안 감시레이더, 이동 표적 추적레이더, 고고도 지상 영상측정 레이더, 중거리 대공 추적 레이더, 항공기 탑재용 다목적 레이더 등 주로 목표물 추적을 위하여 레이더가 개발되었다. 기술 측면에서는 bi-static/mono-static 레이더, 연속파/펄스 레이더, 펄스 압축레이더, 기계식/전자식 스캐닝 레이더 등 다양한 기술이 이미 응용되었다. 이러한 다양한 기술들은 이미 국내 기술진에 의하여 개발되었다. 전 세계적으로 기상 레이더 기술은 군사용으로 개발된 레이더 기술을 답습한다. 위성 배열레이더 및 펄스 압축레이더가 군사용으로 개발되어 사용된 지 오래다. 기상레이더는 이제 이 기술들을 이용하여 위험 기상 감시 및 adaptive sensing을 시도 중이다. 즉, 이러한 기술은 기상레이더에 응용되기 이전에 방위산업 분야에서는 이 기술이 본격적으로 활용되고 있었다. 한국에서 군사용으로 제작된 레이더들을 살펴 보면 한국은 충분한 레이더 하드웨어 기술을 보유하고 있다. 따라서 레이더 하드웨어 개발 측면에서는 충분한 기술력을 바탕으로 세계수준의 레이더를 만들 수 있을 것이다.

한편, 군사용 레이더와 기상레이더는 엄청난 차이점이 있다. 군사용 레이더는 주로 이동 표적 관측 및 추적이 주목적이다. 즉 관측하고자하는 대상이 분산된 목표물(Distributed targets)이 아니라 점 목

표물(point targets)이다. 이에 반하여 기상레이더는 강수를 관측함으로 분산된 목표물을 관측 대상으로 한다. 따라서 군사용 레이더에서는 기상현상과 같은 분산된 목표물이 관측 노이즈가 되며 기상레이더에서는 비행기, 이동 표적 등은 노이즈로 제거된다. 목표물의 차이에서 오는 요구 사항은 확연히 다르다고 할 수 있다. 기상레이더의 경우 단순히 기상 에코의 존재 유무, 이동 방향에만 관심을 가지는 것이 아니다. 기상레이더에서는 모든 관측치를 정량화하고 이 정량화된 관측 치료부터 상세 기상 정보를 획득한다. 따라서 모든 레이더 관측 값이 보정이 되어야 하며 정량화되어야 한다. 미세한 관측 오차는 레이더 관측치의 기상학적 사용을 불가능하게 한다. 현재 상용으로 판매되고 있는 일부 기상레이더는 정량적 관측 보다는 정성적 관측을 목적으로 제작된 것이 있다. 이러한 레이더로는 관측치의 오차로 인하여 정부 각 부처에서 사용하려고 하는 소기의 목적을 달성하기가 곤란하다. 지금까지 한국에서 군사용으로 개발된 대부분의 레이더는 이러한 기상학적인 요구사항을 충족시키지 못한다. 기상레이더에서는 목표물의 강도뿐만 아니라 정확한 시선속도 관측이 중요하다. 또한 최근 강우량 추정 정확도를 향상시키기 위하여 이중 편파레이더가 적극적으로 활용되고 있다. 이중 편파 변수는 단일 편파관측 변수보다 관측 오차에 더 민감하다. 즉 보다 정확한 관측치의 정량화 및 안정적인 관측 값이 요구된다. 이러한 정확한 관측치는 안정도가 뛰어난 하드웨어뿐만 아니라 최첨단의 신호 처리 및 자료 처리가 요구된다. 따라서 기상레이더에서 요구되는 정량화된 관측치를 제공하기 위해서는 현재까지 군사용 레이더를 제작하면서 축적된 기술을 집약하여 안정한 하

드웨어를 생산하는 기술의 개발과 새로운 최첨단의 신호 및 자료 처리기술을 개발하는 것이 가장 중요하다 할 수 있다.

다양한 국산화의 필요성으로 인하여 2008년 연말부터 건설기술평가원에서 “차세대 홍수방어 기술”이라는 사업이 시작되었다. 이 사업의 일환으로 한국형 강우레이더를 제작하여 홍수 예보 기술향상에 활용하고자 한다. 현재는 문헌 조사 단계이며 구체적인 시스템 설계는 2009년 후반기부터 본격적으로 시작될 것이다. 2009년의 설계 단계를 거쳐 2010년에는 모듈별 개발이 진행될 것으로 생각한다. 현재 사용 주파수, 이중편파기능, 펄스 압축 등 구체적인 사양 및 기술에 대한 설계는 이루어지지 않았지만 최종 목표 및 활용 방안을 충족하기 위해서는 x- 또는 c-밴드를 활용하는 소형 이중 편파 레이더가 제작되어야 할 것이다.

#### 4. 선진국 개발 사례

기상레이더 국산화는 여러 차례의 전문가 토론회와 워크숍을 통하여 공론화되어왔다. 그러나 이러한 토론회에서 주로 언급되는 내용은 대형 개발사업의 필요성이다. 아래 선진국의 사례를 통하여 레이더 국산화는 아주 조그만 곳에서부터 시작될 수 있음을 보이고자 한다.

##### 캐나다의 A 연구소

캐나다의 A 연구소는 세계 레이더 기상학의 산실이라 불릴 정도로 다양한 연구 개발 및 레이더 제작을 통하여 세계 최고의 위치를 유지하고 있다. 이 연구

소의 상주 연구 인원은 겨우 3명이다. 여기에 연구소를 관리하는 대학의 교수 두 명을 합치면 총 5명이 레이더 제작 및 알고리즘 개발에 최고의 기술을 유지하고 있다. 이 연구소에서 지금까지 제작하여 외국 연구소 및 학교로 제공한 레이더가 북미 2대, 남미 1대, 아시아 2대, 유럽 3대이며 자체에서는 총 4대를 보유하고 있다. 현재 한국 및 전 세계에서 관심을 모으고 있는 이중편파레이더는 1999년에 개발되어 현업화 되었다. 현재 스캐닝 구름 레이더 및 주파수 변화가 가능한 이동형 이중편파레이더 제작 중이다. 또한 자체 기술로 레이더와 라디오미터 기술을 융합하는 새로운 시도를 하고 있다. 이렇게 레이더 제작 및 기술 개발에서 최첨단에 있는 이 연구소의 연간 총예산은 고정 예산 5억 정도, 두 교수가 수주해오는 연구비가 전부이다.

그럼 인원 및 예산이 빈약한 이 연구소에서 최첨단의 레이더 제작 및 기술개발을 할 수 있는 이유는 무엇일까? 이 연구소의 장점은 연구 개발의 한계를 명확하게 인식하고 자체 경쟁력을 강화시킬 수 있는 부분에 집중 투자한다는 것이다. 최근 전자 공학 및 통신 기술의 발달은 다양한 레이더 부품의 수급을 용이하게 한다. 예를 들어 안테나, 송신기 등은 다양한 분야에서 사용되기 때문에 전 세계적으로 뛰어난 제품을 쉽게 구할 수 있다. 만약 새로운 기술 개발을 위하여 고 성능의 송신기 제작을 원한다면 연구소에서 직접 제작하기 보다는 기본 요구 사항 및 사양을 전문 송신기 제작업체와 협의하여 제작업체가 새로운 제품을 생산하여 납품하게 하는 경로를 가지고 있다. 즉, 영세한 연구소의 상황을 정확하게 파악하여 경쟁력이 없는 부분은 과감히 포기한다.

주요 부품들은 요구 사항을 충족시킬 수 있는 회사에서 구입하거나 상업용으로 제작된 상품 중 최상의 것을 선택하여 이용한다. 그러나 신호 또는 자료 처리 부분 등 경쟁력이 확보될 수 있는 부분에서는 투자를 아끼지 않는다. 물론 전 시스템을 볼 수 있는 전문가의 필수적이다. 모든 부품을 자체 기술로 개발하기 보다는 적절한 최상의 부품을 사용하면서 기술력이 확보될 수 있는 부분에서 경쟁력을 키우는 전략이다.

#### 미국의 B 대학

미국의 B 대학 또한 캐나다의 A연구소와 유사한 모델을 따른다. 차이점은 B 대학은 전자공학을 전공한 연구원들이 주를 이루는데 비하여 A연구소는 기상학 전공자가 주 구성원이다. B 대학의 경우 A 연구소와 유사하거나 조금 많은 예산으로 운영되며 비슷한 수의 연구원을 두고 있다. B 대학에서는 미국 국립 기상연구소의 S-밴드 이중편파레이더(S-Pol)와 더불어 세계 최고의 이중편파레이더를 보유하고 있다. 이 레이더 또한 자체 기술력에 의해 “제작”되었다. 즉 송신기, 안테나 같은 중요한 부품은 특수 주문 제작의 형식으로 전문 제작업체에서 구입하고 연구원들의 전문성을 살릴 수 있는 하드웨어나 신호처리 부분은 직접 개발하였다. 즉 모든 부품이 자체 기술력으로 제작된 것은 아니다. 그러나 여전히 이 레이더는 세계 최고의 레이더로 불리며 B 대학은 기술력을 인정받고 있다. 만약 이 대학이 송신기, 안테나 부분의 자체 개발을 시도하였다면 제한된 재원으로 세계 최고의 기술을 보유할 수 있었을지는 의문이다.

#### 미국의 C 회사

미국의 C 회사는 세계 최고의 신호 처리기(signal processor) 및 레이더 변수 정량화 기술을 보유하고 있다. 이 회사의 강점은 이 두 부분에 있다. C 회사 또한 송신기, 안테나 등의 부품은 전문 제작업체에서 구매한다. 자체 개발한 신호처리기와 어울릴 수 있는 다양한 상용 부품들을 구입하고 최고 기술의 신호 처리기를 이들 부품들에 장착함으로써 자료 질이 뛰어난 레이더를 제작한다. 이 회사 또한 규모는 전임 연구원 4명이다.

#### 유럽의 D 회사

D 회사는 위의 연구소나 회사들과는 달리 자체 송신기, 신호 처리기 등을 제작한다. 이 송신기에 대한 평가는 최고는 아닐지라도 안정하다는 것이다. 세계의 많은 정부 기관에서 D 회사 제작의 송신기를 구입하여 자체 레이더를 개발한다. 이 회사는 송신기, 신호처리 뿐만 아니라 레이더 완제품을 제작하여 상용으로 판매한다. 제작된 레이더는 안정하지만 자료 처리 및 자료 질이 위에서 소개한 대학 및 회사에 비해 떨어진다. 송신기, 신호 처리기 등을 자체 제작하므로 전임 연구인원 또한 위 회사 또는 대학의 2~3배수이다.

### 5. 레이더 국산화를 위한 제안

레이더 국산화는 다양한 필요성으로 인하여 반드시 수행되어야 한다. 그러나 국산화라는 용어에 다소의 문을 가질 수 있다. 과연 어느 부분까지 국내 기술로 개발된 것이 국산 레이더인가라는 의문이다. 앞 절에서 언급한 회사, 대학, 및 연구소의 대부분은 모든

부품을 자체 생산하지 않고 다른 분야에서 사용되는 상용 제품을 구입하거나 목적에 맞게 특수 주문 제작하는 방식으로 레이더를 제작한다. 그럼에도 불구하고 세계최고의 레이더 기술 보유 및 이를 활용하고 있는 곳으로 손꼽는다. 따라서 한국 레이더 국산화는 해외 기술 이전을 통한 자체 레이더 제작 기술 확보 및 현존하고 있는 군사용 레이더 제작 기술의 집약을 통한 국산화로 생각할 수 있다.

#### 해외 기술이전을 통한 기술력 확보

레이더 국산화는 반드시 모든 부품을 국내에서 제작함으로써 이루어지는 것은 아니다. 유지 보수 측면에서 고려한다면 목적에 맞는 다양한 부품을 구입하고 이들의 조립을 통한 레이더 제작으로 레이더 전반에 관한 기술력 확보가 더 중요하다. 각 부품간의 유기성 및 특성을 이해하고 이를 최대한으로 잘 조합하여 최상의 품질의 레이더 자료를 생산하는 것이 자체 부품 개발보다 더 중요하다. 이 방법은 전세계의 많은 연구소 또는 정부 기관에서 활용하는 방법으로 레이더 자체 조립을 통하여 레이더 기술을 확보하고 추후 운영 시 유지 보수를 원활하게 한다. 또한 이 접근 방법은 큰 재원이 필요 없다. 가장 중요한 성분은 레이더 조립능력을 갖춘 인력의 양성이다. 이러한 인력 양성은 정부 부처의 부단한 관심과 지원이 있어야 가능하다. 예를 들어 레이더 엔지니어가 레이더 관리 및 개발에 수 십 년간 전념할 수 있는 제도적 장치를 마련하는 것이 중요하다. 또한 초기 레이더 개발을 위하여 레이더 도입 시 기술 이전을 전제로 사업을 진행하는 것도 중요하다. 예를 들어 2009년에 도입되는 기상연구소의 연구용 이중편파레이더 도입에 기술 이전 부분이 많이 강화되었

다. 특히 기상청에서 요청이 있을 경우에는 엔지니어를 장기간 파견하여 레이더 제작에 참여할 수 있도록 하였다. 아쉽게도 인력 수급 문제로 인하여 엔지니어의 장기파견은 이루어지지 않았지만 이러한 기회를 통한 레이더 제작의 참여는 레이더 제작 기술을 이전 받을 수 있게 한다. 이러한 레이더 제작 기술 이전은 선진국의 연구소나 대학과의 교류를 통하여 충분히 이루어질 수 있다. 현재 기상청, 한강 홍수 통제소, 공군 기상 전대에서 레이더 관련 업무를 담당하고 있다. 그러나 이러한 기술 이전을 용이하게 할 수 있는 체계가 갖추어져 있지 않은 것 같아 아쉬울 따름이다. 수년 후 이들 3개 정부 기관에서 현업 운용될 레이더 규모를 고려하면 레이더 개발 또는 국산화를 담당하고 자체 유지 보수를 할 수 있는 인력을 확보하고 소요 알고리즘을 개발할 수 있는 공동체 구성이 절실하다. 공동체 구성이 어렵다면 각 기관별로 기술력을 확보할 수 있는 체제마련이 반드시 있어야겠다.

#### 현존하는 기술력 집약을 통한 국산화

지금까지 군사용 레이더 개발은 국내 기술로 진행되었다. 현재 충분한 기술력을 확보하고 있으며 부품의 상당 부분은 국산화가 된 상태이다. 따라서 이러한 군사용 레이더 기술을 활용하여 기상레이더를 국산화하는 방안도 검토해볼 가치가 있다. 첫째 이러한 접근 방법은 앞의 방법에 비해 기술 자립도가 높다. 모든 부품이 국산화 될 것이며 자체 기술력 없이는 불가능한 접근 방법이다. 자체 기술력 개발에 의한 타 분야에서의 파급효과가 크다. 기술 자립을 통한 경쟁력 확보가 용이하여 국내 시장은 물론 국외 시장에서 타 제품과의 경쟁이 가능하리라 본다. 이러



한 다양한 장점에도 불구하고 큰 재원이 요구될 것이다. 기상레이더 워크샵에서 한 기업체의 발표에서 제시한 것처럼 하나의 레이더 개발을 위해서 100억 원 이상의 예산이 소요될 수 있다. 또한 장기간의 개발 기간이 소요되어 급속하게 변화하는 수요시장에 적극적인 대처가 어려울 수 있다.

또한 이러한 접근 방식은 기상청, 홍수 통제소, 또는 공군 기상전대 중 어느 한 기관 또는 공동으로 수행하기에는 각 기관의 고유 업무를 고려하면 현재의 체제에서는 실현 가능성이 떨어진다. 각 기관에서 현재 이러한 기술력이 확보되어 있는 상황이 아니기 때문이다. 이러한 레이더 기술은 레이더 개발에 참여한 여러 기업이 보유하고 있으며 이러한 접근 방식을 택할 경우 이들 기업체의 참여는 필수적이다. 이 경우 기업체가 주체가 되어 레이더 개발을 주도할 가능성이 높고 이로 인한 정부 각 기관의 기술력 확보는 어렵다고 보아야한다.

이 접근 방법의 가장 중요한 난제는 군사용 레이더를 어떻게 목적 및 활용이 다른 기상레이더로 전환할 수 있을 것인가이다. 즉, 기상레이더로서 정확도가 높은 정량적인 관측 자료를 어떻게 담보할 것인가이다. 현재 군사용 레이더 개발에 참여한 대부분의 연구원은 기상레이더의 활용 또는 요구 사항에 대한 정확한 인식이 부족하다. 기상에 대한 지식 부족 및 기상레이더에서 전문한 경험이 그 요인이다. 따라서, 군사용 레이더 개발 업체 주도로 기상레이더가 국산화가 이루어질 경우 기상 전문가의 요구의 적극적인 반영이 있어야 하겠다. 또한 국산 레이더 완제품 제작 후 기상레이더로서 만족해야하

는 사양 및 정확도를 정량화하는 작업이 반드시 있어야 하겠다.

## V. 맺는 말

지금까지 기상레이더의 다양한 활용 분야에 대해 살펴 보았다. 기상레이더는 위험기상 감시 및 예측, 정량적 강수량 추정, 강수 예보 정확도 향상 등 다양한 분야에 이용된다. 특히 최근 자료 동화기술의 발달은 레이더 자료를 실시간으로 수치모델의 입력 자료로 사용하여 강우량의 예측 정확도 향상을 가능하게 하였다. 이러한 다양한 분야에서의 요구를 충족시키기 위하여 다양한 기술적 시도를 하고 있다. 기존 현업용 레이더의 경우 기계적 스캔 방식에서 오는 한계로 인하여 높은 공간분해능의 3차원 자료를 획득하는 동시에 정량적 강수량 추정을 위하여 높은 시간 분해능 저층자료를 획득하기는 어렵다. 또한 대부분의 기상레이더는 관측되는 강수계의 특성과는 무관하게 천편일률적인 부피 스캔을 계속한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고 기상 레이더의 보다 효율적인 활용을 위하여 위상 배열레이더가 개발되고 있으며 강수계에 따라 보다 능동적인 스캔을 하는 adaptive sensing 기술이 개발되고 있다. 또한 미세물리 정보를 획득하고 강수량 추정 정확도 향상 및 자료 품질 관리를 용이하게 하기위하여 이중 편파기능을 추가하고 있다.

최근 기상 레이더 국산화에 대한 많은 토론이 진행되어 오고 있다. 본 논단에서는 이러한 기상레이더 국산화와 관련하여 지금까지의 레이더 개발 현황을

알아보았다. 지금까지 한국에서는 군사용 레이더 개발에 주력하여 레이더 하드웨어 관련 충분한 국산 기술을 보유하고 있다. 그러나 군사용 레이더는 이동표적 추적을 주목적으로 하기 때문에 주 관측 대상이 점 목표물(point target)이다. 반면 기상레이더는 분산 목표물(distributed target)을 주 관측 대상으로 한다. 따라서, 기상레이더에서는 정량적인 관측 변수 및 이들의 정확도가 중요하다. 기상레이더 관측 변수의 정확도를 담보하는 쪽으로 기상레이더의 국산화가 이루어져야한다. 현재 세계의 최첨단에 위치한 많은 레이더 개발 연구소, 대학 및 기업체의 경우 모든 부품을 자체개발 하기보다는 다양한 부품을 구매하고 조립의 형식을 통하여 각 기관의 장점을 부각시키는 방향으로 레이더 개발을 진행하고 있다. 따라서, 한국 레이더 국산화는 이러한 방법을 채택하는 방법과 기존 군사용 레이더 개발에서 축적된 기술을 기상레이더 기술로 전환하는 방식이 있을 수 있다. 두 방법 모두 기술 및 재원 확보에서 세심한 주의가 요구된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Keeler, R. J., et al., 2000: SPol: NCAR's polarimetric Doppler research radar, Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, Honolulu, Hawaii, 1570 - 1573.
- Lee, G., 2007: Source of errors in precipitation measurements by polarimetric radar: Sensitivity of polarimetric parameters to drop deformation, Asia-Pacific J. Atmos. Sci., 43, 41-57.
- McLaughlin, D. J., et al., 2005: Distributed Collaborative Adaptive Sensing (DCAS) for Improved Detection, Understanding, and Prediction of Atmospheric Hazards, Ninth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS), American Meteorological Society.
- Saffle, R. E., et al., 2006: NEXRAD product improvement-Update 2007. Preprints, 22nd Int. Conf. on IIPS for Meteorology, Hydrology and Hydrometeorology, San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, 91.
- Seliga, T. A., and V. N. Bringi, 1976: Potential use of radar differential reflectivity measurements at orthogonal polarizations for measuring precipitation. J. Appl. Meteor., 15, 69-76.



## 유럽의 기상장비 산업 현황: 핀란드 바이살라를 중심으로

방 기 석

GBM Inc, 대표

gsbang@gbm.co.kr

### I. 들어가는 말

지난해 공식 발효된 교토의정서 (Kyoto Protocol) 및 앞으로 서울에서 개최될 C40 기후리더십 그룹 (C40 Climate Leadership Group)등 세계적으로 환경과 기후변화에 대한 관심도가 어느 때보다 높아지고 있다. 세계 여러 나라들은 온실가스 배출을 규제하고 에너지 소비를 줄임으로써 급격한 기후변화에 따른 여러 가지 피해를 줄이려 노력하고 있다. 이는 환경오염으로 인한 파괴가 가져온 이상기후현상과 지구온난화 현상 등이 더 이상 일부에 국한된 문제가 아닌 글로벌 이슈로 자리잡고 있음을 의미하기도 한다. 이렇듯 기후는 지구환경의 미래에 막대한 영향을 끼칠 중요한 요소중의 하나이며, 인류의 생존에 직결되는 핵심적인 요소임에 틀림없다.

이러한 기후변화를 관측하기 위해서는 기상현상을 정확히 관측하는 장비와 더불어 우수한 인력 및 인프라가 구축되어 있어야 하며, 이를 바탕으로 산출된 데이터들의 정확한 분석과 활용이 중요하다. 정확하게 유럽 기상업체의 현황과 시장 규모를 파악하는 것도 앞으로 우리나라 기상산업 방향을 설정하는데도 도움이 될 것으로 생각된다.

기상산업에 관련 된 글로벌 기업들 중 전세계 기상시장의 약 70~80% 점유율을 갖고 있는 유럽 핀란드에 본사를 둔 바이살라(VAISALA) 자료를 기준으로 설명을 하고자 한다. 바이살라는 글로벌 거점을 바탕으로 다양한 기상 장비를 생산하고 있다.



## II. 유럽의 기상시장 성장 배경

비단 유럽뿐 아니라 세계 각국의 기상시장은 위험기상 기후변화의 중요성과 이들이 전 산업재해에 미치는 영향으로 인해 그 중요성과 관련분야의 시장이 급성장하게 되었다. 특히 유럽에서는 기상시장 자체가 매우 큰 폭으로 성장하였는데 이는 다음의 몇 가지 특성으로 요약될 수 있겠다.

첫째로 유럽의 위험기상 발생빈도가 높아졌다. 최근에 보여진 폭설 및 폭염으로 인해 유럽의 여러 나라들이 인적, 물적 피해가 예전에 비해 수배 증가하게 되었다. 이 같은 수치는 비단 제한적인 지역에 국한된 것이 아니라 유럽 전역에서 공통적으로 나타난 현상중의 하나이다.

둘째로 기후변화에 대한 정부와 사회의 높은 대응 노력을 들 수 있다. 정부의 기후변화에 대한 연구개발 지원이 활발하고 위험기상이 사회적으로 큰 문제를 일으킴에 따라 시민의 관심과 사회적인 대응책이 활발히 모색되고 있는 점이 유럽의 기상시장을 성장시킨 원동력 중의 하나이다. 이는 결국 장비 개발 사업의 지원으로 이어져 많은 기상 사업자들이 보다 전문적이고 정확한 장비를 개발할 수 있는 기반을 마련해 주게 되었다.

셋째로 업체간 분야별 전문성을 유기적으로 활용한 점을 들 수 있다. 다른 산업에 비추어 특히 기상산업은 각 기상분야의 연관성이 매우 높으며, 이에 따른 기술이전 및 사업자간의 인수, 합병 시 결합에 의한

시너지 효과를 극대화 함으로써 보다 정확하고 새로운 기술개발을 가능하게 할 수 있었다.

넷째로 국가간의 공동책임의식을 들 수 있다. 지구 온난화 및 온실가스 감축을 위한 책임의식을 같이 함으로써, 일부 국가가 아닌 전 유럽 국가가 실행할 수 있는 여러 가지 협약 및 협의체를 구성함으로써 보다 구체적이고 실행 가능한 조치를 취할 수 있게 되었다.

결론적으로 이러한 다양한 요소들이 어우러져 유럽의 기상시장 전체를 성장시켜나갈 수 있는 기틀이 마련될 수 있었으며 곧 유럽 기상산업 발전으로 이어지게 되었다.

## III. 유럽 기상장비 시장 규모 및 바이살라 인수·합병 현황

바이살라가 집계한 자료 (VAISALA Representative Meeting, June 4 - 8, Helsinki, Finland) 에 따르면 전세계 시장 규모는 2006년 기준으로 대략 600억 EURO 를 형성하고 있으며 2007년 대략 250,000,000 EURO와 함께 북미 시장과 유럽에서는 약 42% 와 40%의 점유율로 집계 되었다. 이 같은 배경의 일부분으로 유럽의 다양한 기상전문업체를 인수, 합병한 사례를 들 수 있다(표 11 참고).



[표 1] VAISALA가 인수, 합병한 회사들

No.	회사명	합병년도	국가	취급품목
1	Tycho Technologies Inc.	1985	USA	고층대기수직측풍장비
2	Thermal Mapping International Ltd.	1989	영국	Thermal mapping
3	Atais Weather Check Inc.	1996	USA	자동기상관측시스템 (AWOS)
4	Handar Inc.	1999	USA	Environmental Sensors
5	Air Inc.	1999	USA	항공기
6	Dimension SA	2000	프랑스	낙뢰경보시스템
7	Jenoptik Impulsphysik GmbH	2000	독일	Weather Sensing Equipment
8	LLC	2001	USA	Meteorological systems & unit
9	Global Atmospheric Corpotation	2002	USA	Lightning Detection Equipment
10	Sigmat	2005	USA	기상레이더 관련
11	CLH Inc.	2005	USA	Electronic Measurement Devices

출처: VAISALA Representative Meeting, June 4 - 8, Helsinki, Finland

#### IV. 바이살라 사업영역 및 글로벌 조직 현황

앞서 언급되었듯이 바이살라는 세계의 다양한 기상 전문회사를 인수함과 동시에 각 분야에 특화된 시스템 사업을 분리함으로써 특정분야에 전문적인 제품을 공급할 수 있는 라인업을 보여주고 있으며 다음과 같은 분야로 요약 된다.

- 자동기상관측시스템
- 고층기상관측시스템
- 도로기상관측시스템
- 공항기상관측시스템
- 원격관측시스템 (WIND PROFILER 등)

- 낙뢰관측시스템과 기상레이더(LIGHTNING DETECTION SYSTEM, WEATHER RADAR 등)

바이살라는 현재 세계 12개국 지사 및 20개 이상의 글로벌 사업장을 갖추고 있으며 유럽, 북미, 아시아, 오세아니아, 및 아프리카에 거점을 마련하고 있다 ([그림 1] 참고).

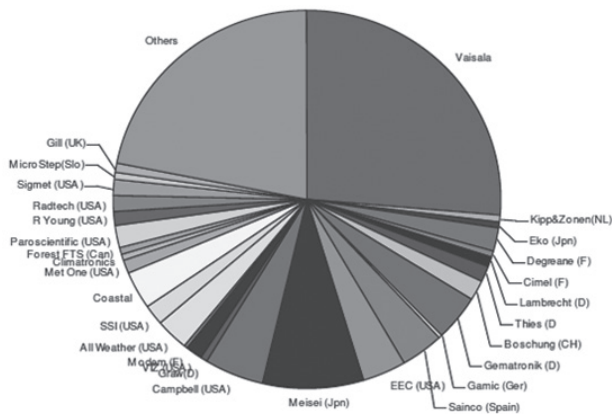
이는 같은 기상사업분야지만 지역적 특성에 맞는 현지 집약적인 사업방향을 펼치고 있는 것으로 보여진다.



[그림 1] VAISALA 사업체 분포 현황

## V. 세계 기상 사업자 및 글로벌 시장에서의 바이살라 점유율과 매출액 추이

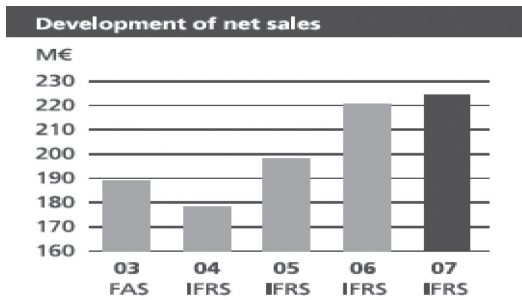
아래 그래프에서 볼 수 있듯이 현재 세계에는 각국의 기상 업체들이 활동하고 있으며 다양한 점유율을 보이고 있다([그림 2] 참고).



[그림 2] 기상장비 업체의 세계시장 점유율  
출처: VAISALA Representative Meeting, June 4 - 8, Helsinki, Finland



앞서 언급되었듯이 온실가스 감축을 위한 세계 각국의 노력 및 위험기상에 대한 전반적인 우려는 결과적으로 세계 기상시장을 확대함과 동시에 기상사업자들의 매출신장으로 이어지게 되었다(그림 3 참고).

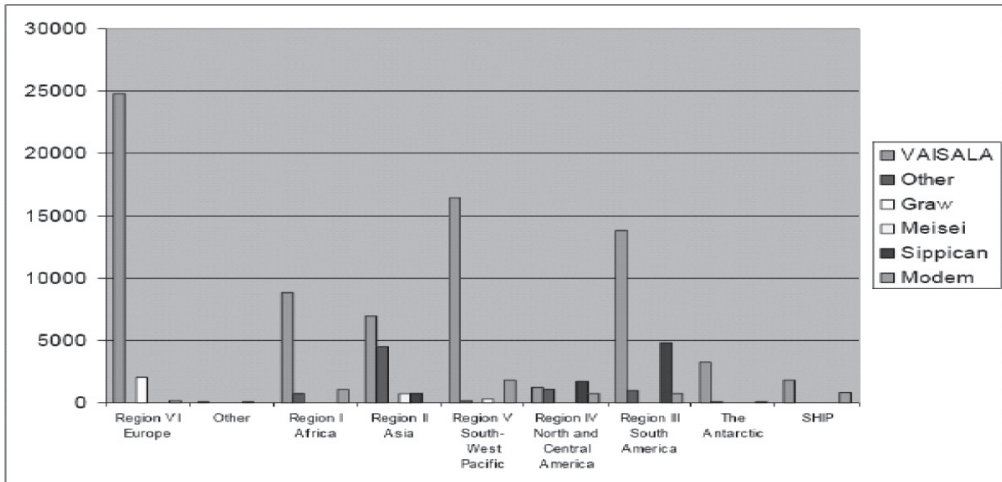


[그림 3] Vaisala사의 순 매출액 추이  
출처: VAISALA Representative Meeting, June 4 - 8, Helsinki, Finland

### VI. 라디오존데 공급업체 분포도 및 바이살라의 분야별 시장 점유율과 매출 현황

바이살라, 모뎀(Modem), 시피칸(Sippican), 그로우(Graw) 및 메이세이(Meisei) 업체 등이 라디오존데를 생산하고 있으며, 각국의 다양한 사례중심의 분포도를 나타내고 있다(그림 4 참고).

바이살라가 집계한 자료에 따르면 바이살라 제품들은 세계 시장에서 다음과 같은 점유율과 매출액 구조를 보여주고 있다(그림 5 참고).

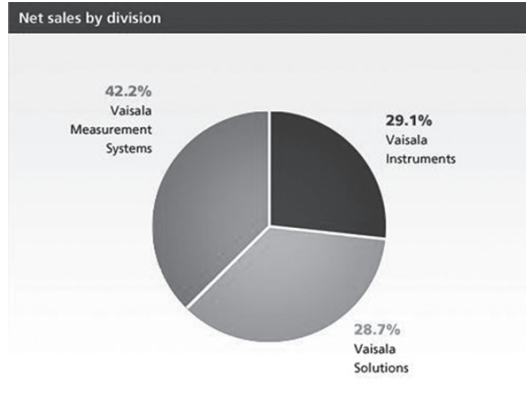


[그림 4] 라디오존데 사용현황  
출처: VAISALA Representative Meeting, June 4 - 8, Helsinki, Finland



[표 2] 기상관측장비의 분야별 점유율

분 야	점유율
• 고층 사운드링 관측 시스템	(~ 65 %)
• 항공 시스템	(~ 40 %)
• 도로기상 관측시스템 및 네트워크	(~ 30 %)
• 상대 습도 측정	(~ 30 %)
• 기압 측정	(~ 30 %)
• 윈드프로파일링	(~ 50 %)
• 시정 및 운고계	(~ 80 %)
• 낙뢰 시스템	(~ 80 %)
• 낙뢰 데이터	(~ 65 %)
• 웨더레이더 신호 프로세서	(~ 65 %)



[그림 5] Vaisala의 분야별 순매출 비율

위 내용을 보면 전세계가 위험기상, 기후변화 대응의 관심도를 기상장비의 특수성을 통해서 이해할 수 있다.

이제까지 바이살라의 자료를 바탕으로 유럽기상업체의 현황과 시장규모에 대해 간략하게 살펴 보았다. 유럽의 한 기상업체의 자료를 바탕으로 전반적인 현황과 규모를 파악하는 점은 무리일 수 있으나, 대략적인 현황을 가늠할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것이다.

마지막으로 세계 각국에서 큰 이슈중의 하나로 부각되고 있는 도로기상 정보관리에 대해 간략히 설명하며 글을 마치고자 한다.

지난 2008년 40년만에 북아메리카 일대는 태어난 폭설로 인하여 겨울철 도로 정비 사업에 많은 인적, 물적 손해를 입게



[그림 6] 시정계 설치 장면





되었으며 이로 인해 효율적 도로기상 정보관리가 기상분야의 중요한 한 축으로 자리잡게 되었다. 이러한 도로기상 정보관리의 효율성은 다음의 결과들을 가져올 수 있다.

첫째, 기상악화로 일어나는 도로문제를 사전에 방지할 수 있다. 이는 도로 상태를 사전에 정확히 감지함으로써 일어날 수 있는 도로상의 사건, 사고를 미연에 방지 한다.

둘째, 도로 문제해결의 진행 상황을 알 수 있게 도와 준다. 기상의 변화에 따라 도로의 상태또한 바뀌게 되는데, 이를 시간에 따라 감지함으로써 현재의 도로상태를 가장 잘 판단할 수 있도록 하며 결론적으로 도로 문제 해결 시 시간과 인적자원 소모를 줄일 수 있다(그림 6) 참고).

이는 바로 도로관리에 있어서 효율성 증대와 자원분배 절약에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 요소이기도 하다. 간단한 예로 도로 기상 정보 시스템 사용 전, 비와 눈에 의한 빙판화의 정도를 알기 위해 주기적으로 상황을 파악하기 위한 이동을 했다고 가정하면 도로 기상 정보 시스템을 사용 함으로써 시간 및 이동 횟수를 줄일 수 있다. 도로 기상 정보 시스템에 장착 된 센서는 도로상의 풍향, 풍속, 얼음, 비, 온도, 눈, 안개, 표면온도 및 결빙상태를 탐지하여 도로 관리자들에게 적절한 대책을 세울 수 있게 해준다. 따라서 효율적인 기상정보 시스템의 구축은 각 분야 도로사고의 예방과 실시간 감시 및 추후 관리를 통한 산업분야 및 순환기능의 역할로 국민의 생명과 재산을 보호하고 각 산업발전에 크게 기여하고

있음을 알 수 있다.

## VII. 맺음 말

전세계가 위험기상 및 기후변화에 대하여 대체에너지 개발과 녹색경영에 신속하게 각 국가별로 대응해나가고 있음을 여러 매체를 통하여 접하고 있다. 이는 모두, 국민의 생명과 재산을 보호하고 각 산업분야를 발전시켜 일류사회에 공헌하는데 그 목적이 있을 것이다. 이 글을 통하여 짧은 지면과 제한된 시간에 유럽기상업체의 현황과 시장규모를 파악하기에는 어려움이 있었으나, 전 세계의 약 80%이상을 점유하고 있는 글로벌기업인 핀란드 바이살라 기업의 사례를 중심으로 소개하였다. 그러나 전세계적으로 기상장비시스템의 급성장 과정을 분석하면서, 우리가 처해있는 환경 문화와 너무나 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

유럽시장의 바이살라의 성장과정을 보면, 전 세계의 기상장비제조업체의 인수합병(M&A)을 통하여 시장점유율을 높혀 왔고, 그 브랜드만의 핵심역량을 키워 성장시켜 나감으로써, 바이살라 브랜드로 전환시켜 나갔음을 주목해야 한다. 이제 우리나라도 위험기상, 기후변화가 빈번하게 나타나고 있고, 특히 폭설·폭우·안개·낙뢰·황사 등으로 인해 직간접적으로 영향을 받고 있는 현실이다. 위 내용과 같이 위험기상에 대응하는 특수장비 시스템 보완이 전 매출 중 높은 비율을 차지하는 것을 알 수 있다. 이에 대응하는 우리도 국가적 제도과 지원이 필요한 실정이다. 우리나라도 선진국의 사례와 같이 대체에너지,



녹색경영, 녹색성장을 위하여 기상산업의 현실을 되돌아보고 미래 지향적 발전을 위하여 모든 분야에 지혜를 모아야 할 때라고 생각된다.

### 참고문헌

[www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)

[www.vaisala.com/weather/products/](http://www.vaisala.com/weather/products/)

[www.vaisala.com/guardian](http://www.vaisala.com/guardian)

Vaisala New Magazine 173/2009

Vaisala New Magazine 177/2009

Vaisala New Magazine 179/2009

KjellForsen, 2007: Vaisala Representative Meeting, Vaisala, 30pp

Paul Bridge, 2009: Vaisala News Magazine(179/2009) , Vaisala, 31pp

Rhys Campbell, 2009: Vaisala News Magazine(179/2009) , Vaisala, 31pp

Steve Grant , 2009: Vaisala News Magazine(179/2009), Vaisala, 31pp



## 세계의 기상장비 및 신기술 동향

김 지 영

국립기상연구소 정책연구과 기상연구관

jykim@kma.go.kr

박 소 연

국립기상연구소 정책연구과 연구원

imsyeon@metri.re.kr

### I. 서론

대기 중에서 일어나는 다양한 규모의 역학적 현상이나 각종의 미세물리적 현상에 대한 과학적 이해의 정도가 깊어짐에 따라 이를 보다 효과적이고 정확하게 관측하기 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있고, 관련 기술의 발전 속도 또한 빠르게 진행되고 있다. 지구 주변의 궤도를 돌고 있는 인공위성에 탑재된 원격탐사 센서를 통해 수집된 자료가 일련의 처리과정을 거쳐 구름, 대기조성(주로 에어러솔이나 기체성분), 지표 성질 등의 시공간적 분포, 발달과 이동, 변화과정 등에 대한 다양한 정보를 제공하고 있다. 원격탐사와는 달리, 항공기나 선박 또는 대형 풍선에 탑재된 다양한 센서를 통해 관측된 자료는 우리가 알기를 원하는 대기나 해양의 특정 위치에서의 대기상태에 대한 비교적 정확한 정보를

제공하는 역할을 한다. 또한 지상에서는 비교적 안정된 관측환경 하에서 집중적이고 장기적인 관측을 지속적으로 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 원격탐사나 현지관측(in situ measurement) 등 다양한 방법에 의한 관측 자료는 각 관측 자료의 장점들이 서로 통합적으로 접목되고 해석됨으로써 지구시스템에 대한 우리들의 이해도를 높이고 예측 가능성을 높이는데 기여한다.

대기과학의 발전은 새로운 자료분석 또는 모델링 기술의 향상을 통해서도 이루어지지만 궁극적으로 새로운 장비의 개발을 통하여 진보되어 왔다. 왜냐하면 관측을 통해서 검증될 수 없는 모델 결과는 그 의미와 중요성을 전달하는데 있어 한계를 가질 수밖에 없기 때문이다. 이전에 관측될 수 없었던 물리적 현상이나 대기의 특성이 새로운 장비의 개발을



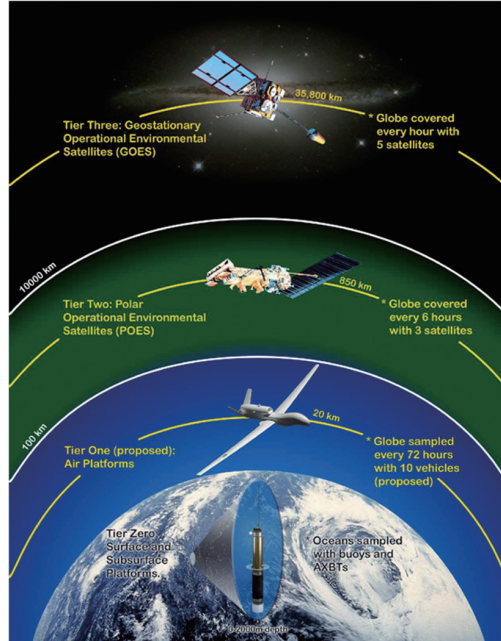
통해서 가능하게 된 사례는 수 없이 많다. 어떤 관점에서 보면 새로운 과학의 발전은 새로운 관측 장비의 개발이나 관측기술의 향상을 통해서 이루어진다고 해도 과언이 아닐 것이다. 따라서, 기상장비의 신기술에 대한 세계적 동향을 살펴보는 것은 매우 의미있는 일이라 할 수 있다. 이 연구에서는 지난 1월 미국 피닉스 시에서 열린 제89차 미국기상학회 연차총회(Annual Meeting of the American Meteorological Society)의 학술발표와 기상장비 전시회에 소개된 기상장비 신기술 현황, 2008년 유럽지구과학회 총회(General Assembly of the European Geosciences Union)에서 발표된 연구 결과, 그리고 필자가 알고 있는 미국 연구자의 신장비 개발과 시험연구 현황 등을 중심으로 선진국의 최신 기술동향을 소개하고자 한다.

## II. 기상장비 신기술 동향과 사례 조사

### 1. 무인 항공기 관측

지구(지표와 해양에서의 관측)와 우주(주로 위성관측) 사이의 관측 공백을 메우기 위하여 무인항공기(UAS, Unmanned Aircraft Systems)를 이용한 관측이 미국에서 최근 활발하게 진행되고 있다([그림 1] 참고). UAS는 기후변화 연구, 날씨와 수자원 예보, 생태계 감시와 관리 등 여러 분야에서의 관측공백을 해소하는데 결정적인 역할을 할 수 있다.

특히, 원격지(예를들어, 극 지역, 광활한 대양이나 사막의 중심지역, 화산활동 지역)나 위험지역(예를들어, 태풍 등 위험기상지역, 화산활동 지역 등)에서의



[그림 1] 위성에 의한 원격탐사와 지상 및 해양관측 사이의 공백을 메우기 위한 무인항공관측.



[그림 2] 미국 해양대기청의 무인 항공기를 이용한 허리케인 관측. 군사용으로 사용되던 글로벌 호크 무인 항공기가 대기관측 연구에 사용되고 있다.

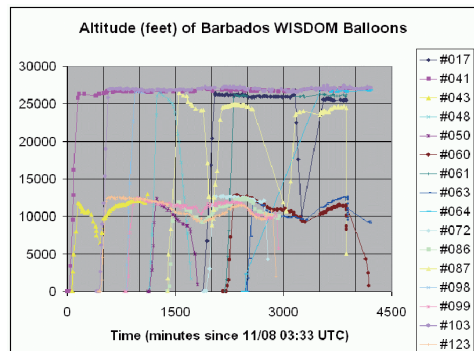
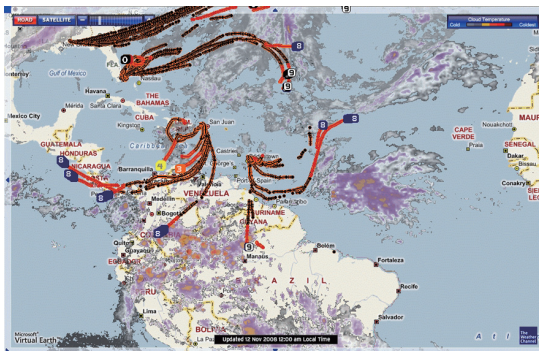


관측 공백을 채우는데 핵심적인 역할을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다(그림 2 참고). 이는 유인항공기 관측을 통해 얻을 수 없는 장기간의 비행이나 위험한 기상 상태에서의 관측을 가능하게 한다. 무인항공기에 탑재된 다양한 센서를 통해 원하는 지점에서의 대기의 다양한 물리화학적 상태와 움직임을 관측할 수 있다. 특히, 온실가스, 에어러솔, 구름, 대기복사 등에 대한 관측은 기후변화 연구에 중요한 자료로서 사용될 수 있다.

미국의 NOAA는 UAS를 통해 걸프 만과 대서양 지역에서 발생하는 허리케인의 경로와 강도를 조기에 예측할 수 있도록 추진 중이며, 극지역과 대서양 지역에 대한 기후변화 연구, 중앙 태평양 지역의 폭풍우에 대한 조기탐지를 통하여 돌발홍수 예측과 수자원 관리에 활용할 계획이다. 특히, 허리케인의 상륙시점에 대한 선행시간 개선, 허리케인으로 인한 소산지역과 시기의 결정을 통해 불필요한 소산에 의해 유발되는 해안 1마일 당 64만 달러(해안 1km당 약 5억원에 해당)의 비용 절감 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대되고 있다.

## 2. GPS 존데 관측

WIDSOM(weather In-Situ Deployment Optimization Method)로 불리는 새로운 관측기법이 NOAA에서 시도되고 있다. 이러한 시도는 2008년의 허리케인 시즌 동안 시험관측을 한 바 있다. WIDSOM은 풍선에 기상관측 장치와 함께 100그램 정도의 소형 ETC RFID 태그를 부착하여 위치정보와 바람 자료를 송신하도록 되어 있다. 관측된 자료는 위성이나 인접한 지상 수신부에 위치정보와 함께 보내어지게 된다. 대서양 허리케인의 경로와 강도에 대한 3일~7일 예측을 개선시키기 위하여 고안되었다. 또한 사전에 추정된 궤적을 따라 목표지역의 해당고도로 신속하게 도달하기 위해 높은 압력(super pressure)의 풍선을 사용하게 된다. 대기 중에는 약 2~10일 정도를 체류하며 관측하게 된다. 이와같은 새로운 관측 방법은 앞으로 우리나라 부근의 태풍 관측에 적용하였을 때 예보 정확도 향상을 위해 많은 도움이 될 수 있을 것으로 추천할 만하다.



[그림 3] WIDSOM 풍선의 이동 궤적과 고도. 걸프 만과 대서양에서 2008년 11월 에 관측한 자료를 나타냄.



### 3. 기후변화 감시용 신장비 개발 사례

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)의 제4차 평가 보고서를 통해 발표된 많은 과학적 사실을 통하여 기후변화의 원인과 전망에 대한 다양한 최신의 연구결과가 발표되고 있다. 특히, 기후변화 예측에 대한 불확실성을 줄이기 위하여 대기 중 에어러솔과 구름에 대한 연구의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 왜냐하면, 에어러솔과 구름의 물리적, 화학적, 광학적 성질의 정확한 이해를 통한 모델링 기술의 향상은 궁극적으로 지구대기의 복사 수지에 대한 이해도를 높임으로써 기후예측의 불확실성을 줄이는데 크게 기여할 수 있기 때문이다. 에어러솔이나 구름은 크기가 수 마이크로미터 정도 이하여서 지상 관측이나 항공기에 탑재되어 에어러솔이나 구름의 미세 물리적 특성을 관측하게 될 때 특수한 기술을 필요로 하게 된다. 특히, 에어러솔이나 구름의 크기 분포, 화학성분 별 농도, 광학적 특성에 대한 정보는 시료의 변형과정 없이 대기 중에 존재하는 원 상태 그대로를 관측하는 것이 매우 중요하고 의미가 있다.

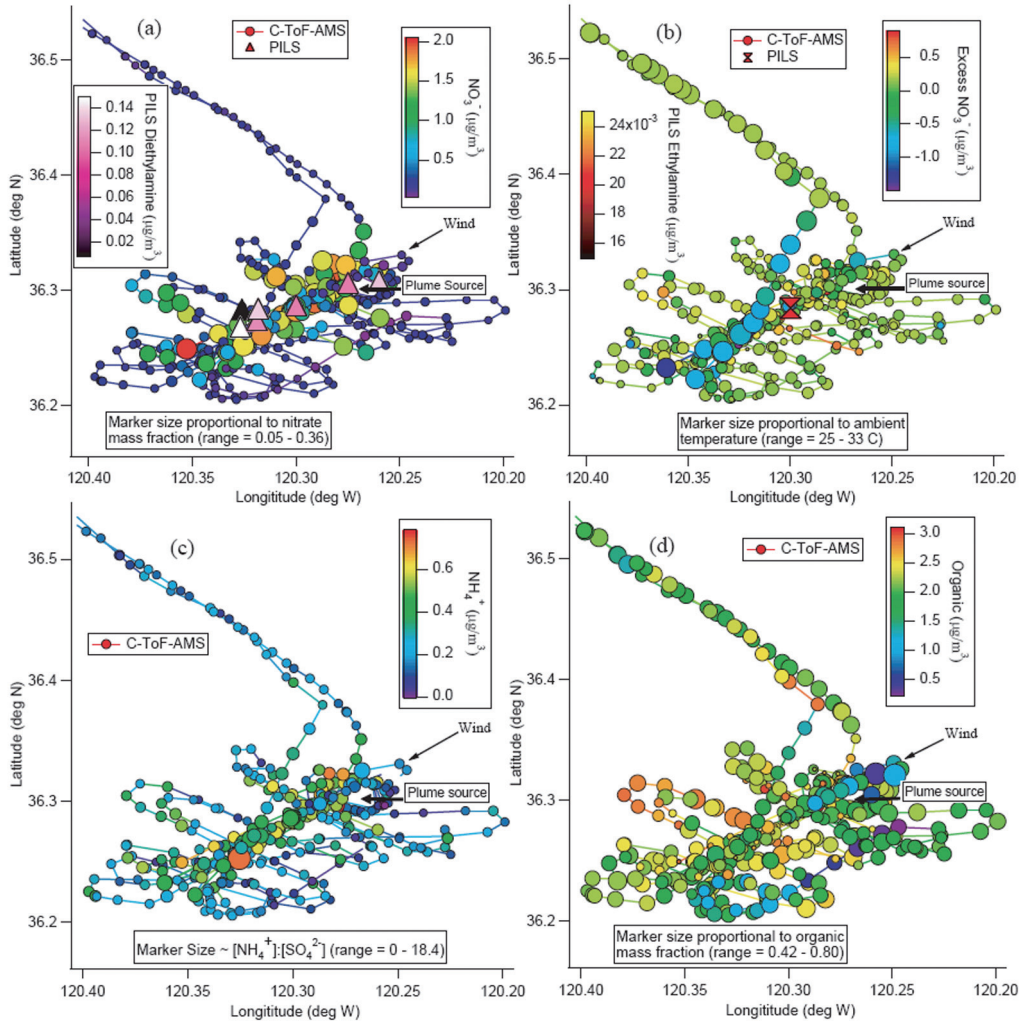
미국의 BMI(Brechtel Manufacturing Inc.)사에서 개발된 PILS(Particle Into Liquid Sampler)는 대기 중 에어러솔의 화학조성(수용성 이온성분)을 자동으로 관측하는 장비로서 작동키(turn-key)를 통하여 사용하기 편리하게 개발 되었다. 1분에서 12시간의 시간해상도를 가지고 PM1.0 또는 PM2.5의 수용성 이온성분을 측정할 수 있다. BMI사는 또한 NOAA로부터 예산지원을 받아 항공기 탑재용 다양한 장비와 부품의 개발을 진행 중에 있다. BMI에서 개발된 장비의 주요 고객으로는 미국 캘리포니

아 공과 대학(California Institute of Technology), NOAA PMEL(Pacific Marine Environmental Laboratory), 캐나다 환경청, 미국 캘리포니아대학(University of California at Davis), 미국 콜로라도대학(University of Colorado, Boulder), NOAA ESRL(Earth Sciences Research Laboratory) 등 기후변화 감시 분야의 세계적 권위를 가진 연구기관들이다. 또한 개발된 관측 장비들은 집중관측 등 국제공동 관측 연구과정에 실제로 투입되어 성능을 입증받고 마케팅까지도 겸하게 되는 방식으로 상품화 과정을 거치고 있다.

[그림 5]에는 유럽지구과학회(European Geosciences Union)에서 발행하는 국제학술 저널인 Atmospheric



[그림 4] 미국 BMI사에서 제작한 PILS 시스템. 항공기에 탑재되어 에어러솔에 포함된 수용성 이온의 농도를 1분 간격으로 측정할 수 있도록 설계되었다(<http://www.brechtel.com/>).



[그림 5] BMI사에서 개발한 PILS장비에 의해서 연구된 결과가 국제학술지를 논문 게재를 통해 발표된 사례 ((Sorooshian et al., 2008). BMI사의 장비 개발자인 Dr. Fred Brechtel이 공동연구자로서 논문발표자에 참여함.

Chemistry and Physics에 학술논문에 발표된 연구 결과 그림으로서 BMI사에서 개발한 PILS를 이용하여 측정한 연구결과가 포함되어 있다(Sorooshian et al., 2008). 실험실에서 개발된 장비가 시험운영 및 검증과정을 거쳐 연구현장에서 실제로 사용되고

상용화되기까지는 어느 정도의 시간을 필요로 하게 된다. 아래의 [표 1]은 신장비 개발에 대한 다양한 사례로서 사업명, 연구비 지원기관, 연구기간 등에 대한 자료를 담고 있다. 표에서 제시된 바와같이 장비개발에 소요된 연구기간은 1~3년 정도로 다양하



[표 1] BMI사에서 예산지원을 받아 용역사업의 수행한 사례

Project Title	Funding Source	Contract Period
Development of a Compact Aerosol Instrumentation Suite for Unmanned Aerial Vehicles	NOAA-OAR Phase-II SBIR	2007-2009
A Broad Spectrum Mobility Analyzer for Aerosol Number Size Distribution Measurements	National Science Foundation Phase-II SBIR	2007-2009
Development of a Compact Aerosol Instrumentation Suite for Unmanned Aerial Vehicles	NOAA-OAR Phase-I SBIR	2006-2007
A Broad Spectrum Mobility Analyzer for Aerosol Number Size Distribution Measurements	National Science Foundation Phase-I SBIR	2006
Development of a Low Pressure-Drop Flow Control System for the NOAA Cessna Research Aircraft	NOAA PMEL	2005
A Versatile Droplet Sizing Spectrometer for Aerosol Hygroscopic Growth Measurements from Research Aircraft	Oce of Naval Research Phase-II SBIR	2004-2008
Development of a Particle Into Liquid Sampler for the NOAA Cessna Research Aircraft	NOAA PMEL	Jan.-April 2005
Development of a Particle Into Liquid Sampler for the CIRPAS Twin Otter Research Aircraft	California Institute of Technology	Jan.-Aug. 2004
Development of an Electrical Mobility Sizer for the NOAA CMDL Research Aircraft	NOAA CMDL	Sept. 2003- Dec. 2004
A Versatile Droplet Sizing Spectrometer for Aerosol Hygroscopic Growth Measurements from Research Aircraft	Oce of Naval Research Phase-I SBIR	2003
Construction and Testing of a New Airborne Aircraft Particle Inlet System for the Gulfstream-1	Pacic Northwest National Laboratory	2002
Design and Evaluation of a New Airborne Aircraft Particle Inlet System for Quantitative Sampling of Particulate Organics	Brookhaven National Laboratory	2002-2003
Multiple Humidity Tandem Dierential Mobility Analyzer	Brookhaven National Laboratory Laboratory Directed Research and Development Program #00-25B	2001-2003
Development of a Versatile Aircraft Mass Spectrometer for Organic Aerosol Analysis	DOE SBIR with Aerodyne Research Inc.	2000-2003





며 NOAA, NSF, 대학, 연구소 등 다양한 기관으로부터 예산지원을 받아 장비개발을 수행하였음을 알 수 있다. 이는 정부로부터의 연구비 지원 뿐만 아니라 대학이나 연구소에서 연구의 일환으로 장비개발에 대한 연구비를 지원하는 형태로도 장비 개발이 이루어지고 있음을 알 수 있게 한다.

4. 유럽의 기술동향

유럽에서의 기상장비 개발에 대한 최신의 정보는 EGU의 측기 관련 학술발표회의(Atmosphere, Ocean, Meteorological Instruments and Ocean Observatory Instrumentation)을 통하여 파악

[표 2] 2008년에 열린 EGU 학회를 통해 발표된 기상장비 신기술 동향

기술명	국가	내용	비고
다목적 대기오염 모니터링 센서 개발	헝가리	휴대 가능한 작은 사이즈, 1분 이내 결과 산출, 오존과 NO2 농도 측정(ppb 단위로). 동시에 4개의 파(1064nm, 532nm, 355nm and 266nm)를 사용하여 측정. 532와 266nm 파장을 이용해 오존과 NO2 모니터링에 사용. 4개의 파장 모두 대기중의 에어러솔의 특성 분석을 위해 사용	레이저 센서
GPS 활용기술	독일	모든 기상 조건에 시공간적 습도 정보를 제공. 습도 공간분석은 GPS 그라운드 스테이션과 위성GPS의 개수를 기본적으로 의지. 새로운 갈릴레오 시스템과 GLONASS은 GNSS 자료를 더 정확하게 제공	GPS
MWR을 이용한 대기경계층 측정 기술		마이크로 웨이브 라디오미터(MWR)는 대기경계층에서 온도와 습도 프로파일 추정에 사용. 수증기에 따른 마이크로파의 복사율의 차이가 있어 가능함. 수증기의 3차원 장은 미해결 분야임	라디오 메터
MFRSR을 이용한 AOD 관측 기술	미국	에어러솔 광학적 깊이(AOD)의 MFRSR 자료를 위한 분석 알고리즘을 추가. TOMS측정으로 부터 NO2와 오존을 기후학적으로 처리. 대기 에어러솔의 특징을 추가. HITRAN 2004 스펙트럼 데이터베이스를 이용 수증기 흡수 고려. MODIS 위성 PWV 결과와 함께 2D 데이터와 SGP의 MFRSR 네트워크 자료 비교로 수증기 장의 공간구조 반영	네트워크
GPS 활용기술	프랑스	프랑스 남부에서 집중강수가 일어난 사례에 대한 연구 수행. GPS 단층촬영 소프트웨어를 개발하고 테스트함. 이 소프트웨어는 매 15분마다 수증기 밀도를 산출. 수증기의 시공간적 다양성에는 매개변수가 있으며, 이 매개변수는 많은 변화를 줌. 어떤 구름 시스템에서 수증기의 분포와 집중호우의 전조 단계, 집중호우에 대한 더 나은 이해가 가능	GPS
항공기용 습도측정 센서	영국	민간 항공기에서의 자동 습도 측정 센서 내장은 매우 큰 관심 사항이며 기상예측을 위한 AMDAR(항공 기상학적 데이터 중계)시스템의 한 부분임. 우리는 민간 항공기를 위한 이용가능한 수증기시스템 기기의 후보기기를 재검사항. 최고의 습도계를 선택하기 위하여 실험실과 비행 중 자동측정과 실시간 테스트 중임.	자동습도측정 센서



[표 2] 계속

<p>미니 항공기를 이용한 대기관측 기술</p>	<p>독일</p>	<p>M2AV는 두 개의 전기력엔진과 2미터의 날개를 갖고 있는 좋은 구성을 갖고 있는 항공기 모델임. 최고 무게는 4.5kg, 유효 탑재량은 1.5kg, 손으로 발진시키고 작동이 쉬운 항공기임. 50분정도 운행가능하며, 20m/s의 속도로 비행하고 60km 범위를 계산. M2AV는 대류권에서 난류측정(바람방향, 온도, 습도)을 수행하는 능력을 가지고 있음. 기상 센서는 측정 시에 항공기의 영향을 최소화하여 각각 센서들과 가까운 위치에 장착. 바람은 작은 5개의 구멍으로 된 기관을 통해 측정하고, GPS와 관성측정 유닛을 통해 측정. 비행 미션(방향점, 고도, 속도)은 항공기 발진 전에 계획하여 지정. 자동조종장치 시스템에 의해 조정</p>	<p>무인항공기</p>
<p>혁신적 쓰나미 검출기</p>	<p>이탈리아</p>	<p>새로운 감지기를 심해 관측소 GEOSTAR에 설치. <a href="http://nearest.bo.ismar.cnr.it/">http://nearest.bo.ismar.cnr.it/</a>. 쓰나미 경고 시스템. 경고 시스템은 육지경고 센터에 기초를 두고 지진과 조류 표준 모니터링 네트워크를 포함하며, 이미 카디스 지역에서 연안 스테이션에서 많은 경고들 받고 있으며, 실시간 접촉하고 운영하고 있음. GEOSTAR는 쓰나미 감지기와 위성, 음향, 유성스테이션과 부이를 갖추고 있음. 경고 센터는 바다 기록 자료를 평가하고, 수집하고, 통합하여 기록함. 압력센서와 지진계, 두 개의 가속도계를 포함</p>	<p>쓰나미 경고 시스템</p>
<p>L밴드 라디오미터 활용 기술</p>	<p>프랑스</p>	<p>CAROLS는 라디오미터의 L-band(1400~1424 MHz)임. 이 라디오 미터는 C-band의 스캐터로미터와 IEEC GPS 시스템의 적외선 CIMEL 라디오미터등과 연결하여 사용. L-band 라디오미터는 C-band 편광레이다와 함께 프랑스 무인항공기 ATR-42에 장착됨.</p>	<p>라디오미터</p>
<p>WegenerNet 기후스테이션 네트워크</p>	<p>호주</p>	<p>WegenerNet 기후 스테이션 네트워크 지역은 151개의 기상 스테이션을 포함하고 있으며, 온도, 습도, 강우, 다른 변수등을 측정함.(<a href="http://www.wegcenter.at/wegenernet">www.wegcenter.at/wegenernet</a>, <a href="http://www.wegenernet.org">www.wegenernet.org</a>). 2006년 가을부터 데이터 전송 시작. 2007년 12월 포털 완료, 2008년 네트워크 시범 단계에서 품질 관리 시스템을 완성하여 함께 실시하고 있음. 많은 연구 프로젝트가 기후와 환경의 변화와 그들의 영향뿐만 아니라 지역 날씨에 관하여 조사하고 있음. 이것은 미래의 기후 모델링과 분석을 위한 열쇠임.</p>	<p>네트워크</p>

할 수 있다. 2008년도의 발표 자료를 살펴보면 ([표 2] 참고), 레이저(Nd:YAG)를 이용한 대기오염물질(오존과 질소산화물) 다목적 센서개발(헝가리), GPS를 이용한 습도 관측(독일), 마이크로 웨이브 라디오미터(MWR)을 이용한 대기 경계층의 온도 습도 프로파일 추정, 에어러솔 광학 깊이 측정을 위한 MFRSR(Multi-filter Rotating Shadowband

Radiometer) 네트워크 관측(미국), M2AV 미니 항공기를 이용한 하층대기 관측(독일), 새롭게 개발된 쓰나미 감지기(이탈리아), L-band 라디오미터를 이용한 대기관측(프랑스), 새로운 기후관측소 네트워크(호주) 등 매우 다양한 분야의 신기술이 발표되었음을 알 수 있다.



### III. 맺음말

이상에서 단편적으로 살펴본 바와 같이 선진국에서는 다양하고 새로운 기술을 접목하여 신장비를 개발하고 있음을 알 수 있다. 모든 기술개발에 있어서 공통적으로 생각할 수 있는 것은 과학기술의 연속성이다. 즉, 이전에 없었던 특수하고 독특한 기술이 갑자기 나타나기란 대단히 어렵고, 지속적인 기술과 경험의 축적을 통해서 발전이 가능하다는 것이다. 기존에 개발되어 사용되고 있던 기술이 보완되거나 타 분야에서 개발된 기술과 융합되면서 새로운 기능을 가지는 장비로서 개발될 수 있을 것이다. GPS 존데나 미국 NOAA에서 시험 중인 WISDOM도 이러한 사실을 잘 보여 주는 결과이다. 또한 지상에서 사용되던 장비가 항공기 또는 선박용으로 개조되어 사용됨으로써 고부가가치의 새로운 장비로서 거듭날 수도 있다. 새로운 장비의 개발과 함께 항상 병행되어야 하는 것이 필드에서의 실험과 성능의 검증이다. 이를 위해서는 우수한 장비개발자와 실험 검증을 위한 훌륭한 시설, 또한 실험결과를 해석하여 장

비의 우수성을 세계적으로 알릴 수 있는 훌륭한 연구자들이 서로 협력하여야만 한다. 따라서, 신장비 개발과 관련된 분야의 산·학·연 전문가 사이의 긴밀한 협력관계가 구축되어 있지 않을 때, 신장비 개발의 실질적인 효과를 거두기가 힘들고 만일 가능하더라도 진척 속도가 무척 느릴 수 밖에 없을 것이다. 또한 미국의 신장비 개발 사례에서 볼 수 있듯이 경우에 따라서는 3년 정도의 충분한 시간을 필요로 할 수 있다. 따라서, 장비개발의 완성단계에 이를 때까지 충분한 연구기간과 연구비 지원도 신장비 개발 정책수립 과정에서 충분히 고려될 필요가 있다.

### 참고문헌

- Sorooshian A., S.M. Murphy, S. Hersey, H. Gates, L.T. Padro, A. Nenes, F.J. Brechtel, H. Jonsson, R.C. Flagan, and J.H. Seinfeld, 2008: Comprehensive airborne characterization of aerosol from a major bovine source. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 5489-5520.

## 『기상기술정책』 투고 안내

### 투고방법

1. 본 정책지는 기상기술 분야와 관련된 정책적 이슈나 최신 기술정보 동향을 다룬 글을 게재하며, 다른 간행물이나 단행본에서 발표되지 않은 것이어야 한다.
2. 원고의 특성에 따라 다음과 같은 5종류로 분류된다.  
(1) 칼럼 (2) 정책초점 (3) 논단 (4) 해외기술동향 (5) 뉴스 포커스
3. 본 정책지는 연 4회(3월, 6월, 9월, 12월) 발간되며, 원고는 수시로 접수한다.
4. 원고를 투고할 때는 투고신청서, 인쇄된 원고 2부, 그림과 표를 포함한 원본의 내용이 담긴 파일(hwp 또는 doc)을 제출하며, 일단 제출된 원고는 반환하지 않는다. 원고접수는 E-mail을 통해서도 가능하다.

### 원고심사

1. 원고는 편집위원회의 검토를 통하여 게재여부를 결정한다.

### 원고작성 요령

1. 원고의 분량은 A4용지 10매 내외(단, 칼럼은 A4용지 3~5매 분량)로 다음의 양식에 따라 작성한다.
  - 1) 워드프로세서는 ‘아래한글’ 또는 ‘MS Word’ 사용
  - 2) 글꼴 : 신명조, 글자크기 : 본문 11pt, 표·그림 10pt
  - 3) 줄간격 : 160%
2. 원고는 국문 또는 영문으로 작성하되, 인명, 지명, 잡지명과 같이 어의가 혼동되기 쉬운 명칭은 영문 또는 한자를 혼용할 수 있다. 학술용어 및 물질명은 가능한 한 국문으로 표기한 후, 영문 또는 한문으로 삽입하여 표기한다. 숫자 및 단위의 표기는 SI규정에 따르며, 복합단위의 경우는 윗 첨자로 표시한다.
3. 원고 첫 페이지에 제목, 저자명, 소속, 직위, E-mail등을 명기하고, 저자가 다수일 경우 제1저자를 맨 위에 기입하고, 나머지 저자는 그 아래에 순서대로 표시한다.
4. 원고의 계층을 나타내는 단락의 기호체계는 I, 1, 1), (1), ①의 순서를 따른다.
5. 표와 그림은 본문의 삽입위치에 기재한다. 표와 그림의 제목은 각각 원고 전편을 통하여 일련번호를 매겨 표, 그림의 윗부분에 적고 자료의 출처는 아랫부분에 밝힌다.  
예) [표1] [표2]...[그림1] [그림2]

## 6. 참고문헌

### 1) 참고문헌 표기 양식

- 참고문헌(reference)은 본문의 말미에 첨부하되 국내문헌(가나다 순), 외국문헌(알파벳 순)의 순서로 정리한다.
- 저자가 3인 이상일 경우, ‘등’ 또는 ‘et al.’을 사용한다.
- 제1 저자가 반복되는 경우 밑줄(\_)로 표시하여 작성한다.

### 2) 참고문헌 작성 양식

- 단행본 : 저자, 출판년도: 서명(영문은 이탤릭체). 출판사, 총 페이지 수.  
(예) 홍성길, 1983: 기상분석과 일기예보. 교학연구소, 521pp.  
Sutton, O.G., 1953: Micrometeorology. McGraw-Hill Book Co., 333pp.
- 학술논문 : 저자, 출판년도: 논문명. 게재지(영문은 이탤릭체), 권(호), 수록면.  
(예) 허창희, 2006: 서울에서 1954-2005년 동안 관측된 설날 귀성에 따른 일교차의 변화. 대기, 16(1), 49-53.  
Seinfeld, J., et al., 2004: ACE-Asia: Regional climatic and atmospheric chemical effects of Asian dust and pollution. Bull. Amer. Meteor. Soc., 5(3), 367-380.
- 학술회의(또는 세미나) 발표논문 : 저자, 발표년도: 논문명, 프로시딩명(영문은 이탤릭체), 수록면.  
(예) 신경섭, 2005: 기상청 디지털예보 개발 및 운영계획. 한국기상학회 봄철 학술대회 논문집, 2-5.  
Song, I.-S., and H.-Y. Chun, 2005: Impacts of convectively forced internal gravity waves in Whole Atmosphere Community Climate Model (WACCM). Proceedings of the Spring Meeting of the Korean Meteorological Society, 58-59.
- 인터넷자료 : 웹 페이지 주소  
(예) <http://www.kma.go.kr/>